

А. Х. ШЕУДЖЕН

ПОСВЯЩАЕТСЯ
памяти выдающегося человека академика
ИВАНА ТИМОФЕЕВИЧА ТРУБИЛИНА

АГРОБИОГЕОХИМИЯ
ЧЕРНОЗЕМА

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФГБОУ ВО «КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени И.Т. ТРУБИЛИНА»
ФГБНУ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РИСА»**

*ПОСВЯЩАЕТСЯ
памяти выдающегося человека академика
ИВАНА ТИМОФЕЕВИЧА ТРУБИЛИНА*

А. Х. Шеуджен

**АГРОБИОГЕОХИМИЯ
ЧЕРНОЗЕМА**

2-е издание дополненное и переработанное

Майкоп – 2018

ББК 40.4я73
УДК 631.8 (075.8)
Ш 52

Рецензенты:

академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук,
Заслуженный деятель науки Российской Федерации

В.П. Ермоленко

академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
директор ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова

В.Г. Сычев

Ш 52 Шеуджен А.Х. **Агробиогеохимия чернозема**. 2-е изд. доп. и перераб. – Майкоп: ОАО «Полиграф-ЮГ», 2018. – 308 с.

Монография посвящена агробиогеохимии чернозема выщелоченного Западного Предкавказья. В ней дается физико-химическая и агрохимическая характеристика почвы и анализируется тенденция их изменений в условиях агрогенеза. Показаны эколого-агрохимические функции минеральных удобрений при их длительном применении в агрогенезе.

Предназначается для агрохимиков, почвоведов, экологов, специалистов в области охраны окружающей среды, а также аспирантов и студентов этих же специальностей.

ISBN 978-5-6040313-3-9

© А.Х. Шеуджен,
Кубанский государственный
аграрный университет
имени И.Т. Трубилина,
Всероссийский научно-
исследовательский институт риса

ИВАН ТИМОФЕЕВИЧ ТРУБИЛИН

*Ежели ты хорошее сделаешь с
трудом, труд минется, а хорошее
останется, а ежели сделаешь что ху-
дое с услаждением, услаждение ми-
нется, а худое останется.*

М.В. Ломоносов

*Природа-мать! Когда б таких людей
Ты иногда не посылала миру,
Заглохла б нива жизни...*

Н.А. Некрасов

В западной части г. Краснодара расположен утопающий в зелени парков и скверов Кубанский ордена Трудового Красного Знамени государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина – один из старейших вузов Кубани и крупнейшее в Российской Федерации высшее учебное заведение сельскохозяйственного профиля. История его начинается 16 июня 1918 г. Именно в этот день съезд Совета народного образования Кубано–Черноморской Советской республики постановил открыть в Екатеринодаре (ныне г. Краснодар) политехнический институт в составе шести факультетов (в том числе сельскохозяйственный) и трех дополнительных образовательных ступеней – высшей школы, среднего учебного учреждения и курсов подготовки квалифицированных рабочих. Северо–Кавказский политехнический институт – так он вскоре стал именоваться, – получил помещения, кредиты и 28 ноября 1918 г. начал свою работу. Размещался он в здании по адресу ул. Дружба, 107 (в настоящее время это административный корпус Кубанского государственного университета физической культуры, спорта и туризма). Преподавательский состав насчитывал 50 чел., в их числе – 14 профессоров, 17 доцентов, 10 «преподавателей главных предметов». Первый набор студентов составил 1400 чел., в т. ч. на агрономический факультет – 207.

5 сентября 1919 г. по предложению Главнокомандующего белогвардейской Добровольческой армии, генерала А.И. Деникина Северо-Кавказский политехнический институт был объединен (не закрыт) с Кубанским политехническим институтом, созданным 10 февраля 1919 г. казачьим правительством.

17 марта 1920 г. Красная Армия освободила от белогвардейцев г. Екатеринодар и на Кубани была восстановлена советская власть.

Кубанский политехнический институт, как приемник Северо–Кавказского политехнического института, был утвержден Народным комиссариатом просвещения и поставлен на баланс краевого бюджета.

Учитывая исключительное значение подготовки агрономических кадров для Кубани, исполнительный комитет Кубано–Черноморской области 5 сентября 1921 г. вынес постановление об организации на базе агрономического факультета Кубанского политехнического института – Кубанского сельскохозяйственного института. После выделения агрономического факультета из состава Кубанского политехнического института, последний 15 марта 1922 г. был закрыт и на его базе организован Кубанский индустриальный техникум. Таким образом, Кубанский сельскохозяйственный институт (ныне Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина) является прямым и единственным приемником Северо–Кавказского политехнического института, отсчитывающий свое начало от 16 июня 1918 г.

Сегодня, проходя по его живописным аллеям, мы никак не можем миновать аллею Славы Героев, которая запечатлела для потомков лики лучших сынов Кубани – дважды Героев Труда: академик П.П. Лукьяненко и В.С. Пустовойта, знатного механизатора М.И. Клепикова, председателя агрофирмы «Победа» Каневского района В.Ф. Резникова. Взгляд невольно задерживается еще на одном бюсте, на котором высечена надпись: «Трубилин Иван Тимофеевич, Герой Социалистического Труда, Герой Труда Кубани, академик, ректор Кубанского ГАУ». Кто он? Практически каждый житель Кубани без особых раздумий ответит на этот вопрос. Русский по национальности, патриот по духу, советский по менталитету, инженер–механизатор по образованию, ученый экономист и аграрник по роду работы, организатор образования и науки и лидер по призванию, Иван Тимофеевич придал буквально второе дыхание аграрному образованию на Кубани, и нынешний Кубанский государственный аграрный университет, детище И.Т. Трубилина, – стал таким во многом благодаря ему.

Среди нескольких миллиардов живших ранее и ныне живущих на Земле людей лишь немногие, – возможно, несколько миллионов, сделали главное из того, что вообще было сделано на нашей планете за обозримое историей время деятельности людей. В меру дарованного им таланта и сообразно складывающимся обстоятельствам они собирали, охраняли и созидали духовное и материальное богатство

общества. К плеяде лучших из лучших сынов Земли Кубанской и относится Иван Тимофеевич Трубилин. Жителям Кубани он запомнился как человек титанической работоспособности, талантливый организатор образования и науки, равнодушный к интересам и потребностям своих учеников и коллег–преподавателей, добрый и отзывчивый товарищ, новатор, оперативно бравший на вооружение самые эффективные достижения научно–технического прогресса.

Жизнь Ивана Тимофеевича пришлось в эпоху величайших преобразований общества и науки. Его детство и юность прошли в годы сталинских пятилеток – период триумфального развития народного хозяйства страны, Великой Отечественной войны, послевоенного восстановления народного хозяйства и расцвета науки в СССР. Зрелость Ивана Тимофеевича пришлось на время нахождения у власти бездарных правителей: Н.С. Хрущева, М.С. Горбачева, Б.Н. Ельцина. Она охватила также и золотой период для советского народа, когда страной руководили личности государственного масштаба Л.И. Брежнев и Ю.В. Андропов. В таких тернистых условиях, как метко подметил известный кубанский писатель и журналист Владимир Рунов в своей книге «Крик жаворонка...» пришлось идти Ивану Тимофеевичу «к жизненному успеху и общественному признанию, формируя и закаляя качества созидателя и мыслителя...».

«Распалась великая держава, – пишет профессор А.А. Хагуров, – меняются общественно–политические ценности, но Кубанский госагроуниверситет под руководством И.Т. Трубилина растет и расширяется. Неужели на него не влияют пережитые страной события? Конечно, да. Но в том и состоит извечный философский вопрос о месте и роли Личности в истории, особенно в столь быстро меняющихся во времени событиях. Может ли человек им противостоять и достигнуть цели? Или он, сложа руки, слепо отдаст себя воле волн? Судьба Ивана Тимофеевича как раз свидетельствует о том, что Человек должен быть активным борцом, созидателем своего (и не только своего!) будущего.

Иван Тимофеевич приобрел основной жизненный и профессиональный опыт в советские времена. Что бы сейчас ни говорили о том времени, но тогда была такая кадровая политика, которая и ковала такие кадры.

Период реформы в стране имел разрушительный характер, но на уровне отдельных регионов, ведомств, предприятий и учрежде-

ний мы видим в России немало талантливых, мудрых и честных лидеров, избравших свой взвешенный путь созидания. Одним из таких лидеров и являлся Иван Тимофеевич. Благодаря таким личностям, как он, Россия в очередной раз выстояла в один из тяжелых периодов своей истории».

Иван Тимофеевич – человек эпохи, и более того – даже сам человек–эпоха, 37 лет он достойно нес тяжелую ректорскую ношу, руководя самым передовым аграрным вузом в стране. На протяжении феноменального по продолжительности ректорства Иван Тимофеевич ярко проявил себя как непревзойденный мудрый стратег в управленческой деятельности, требовательный к подчиненным и в то же время заботливый ко всем и к каждому в отдельности. Это он превратил Кубанский госагроуниверситет в город–сад, которому нет равных среди других вузов нашей страны по красоте, а также обеспеченности учебной и научно–исследовательской базой, числу студентов и высочайшей квалификации преподавательских кадров, среди которых есть и академики Российской академии наук. Учебные корпуса и научно–исследовательские лаборатории, студенческие общежития и спорткомплекс с бассейном, ботанический сад и столовые, поликлиника и учебно–опытные хозяйства, жилой городок и живописная база отдыха на берегу Черного моря, – все это было создано под его руководством.

Иван Тимофеевич родился в семье Тимофея Петровича и Анны Акимовны Трубилиных 25 февраля 1931 г. в ст. Шкуринской Кущевского района Краснодарского края. В 1954 г. он окончил Мелитопольский институт механизации сельского хозяйства. В 1954–1956 гг. – работал главным инженером Гулькевичской машинно–тракторной станции, а в 1956–1958 гг. – ее директором. В 1958 г. – был назначен директором Отрядно–Кубанской ремонтно–тракторной станции.

В период 1958–1962 гг. И.Т. Трубилин на партийной работе: в 1958–1959 гг. – второй секретарь Ярославского РК КПСС (ст. Ярославская Краснодарского края), с 1958–1960 гг. – второй, а в 1960–1962 гг. – первый секретарь Гулькевичского райкома партии. В 1959–1960 гг. Иван Тимофеевич совмещал обязанности второго секретаря с должностью председателя колхоза «Заря» Гулькевичского района Краснодарского края. В 1962 г. он работал начальником Армавирского территориально–производственного колхозно–совхозного управления; в 1962–1965 гг. – председатель исполни-

тельного комитета Краснодарского краевого Совета депутатов трудящихся. В 1965–1970 гг. Иван Тимофеевич работал начальником Краснодарского краевого управления сельского хозяйства. С таким богатым жизненным опытом он возглавил Кубанский сельскохозяйственный институт (Кубанский ГАУ), бессменным руководителем которого был с 1970 г. и до последних дней жизни (1970–2007 гг. – ректор, 2007–2014 гг. – президент Университета).

Иван Тимофеевич Трубилин – академик РАН, доктор экономических наук, доктор философии Оксфордской образовательной сети, профессор, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, Республики Адыгея и Кубани, Заслуженный работник сельского хозяйства Кубани, лауреат премии Администрации Краснодарского края в области образования и науки.

Указом Президента СССР от 30 апреля 1991 г. «за большой личный вклад в развитие сельскохозяйственной науки и подготовку высококвалифицированных специалистов для агропромышленного комплекса страны» Иван Тимофеевич был удостоен высокого звания Героя Социалистического Труда, а в 2003 г. ему присвоено звание Герой Труда Кубани.

Многолетняя научная, педагогическая, государственная и общественная деятельность академика И.Т. Трубилина отмечена двумя орденами Ленина (1986, 1991), орденом Октябрьской революции (1970), двумя орденами Трудового Красного Знамени (1966, 1973), орденом Дружбы народов (1981), двумя орденами «За заслуги перед Отечеством» (IV степени 2003; III степени – 2008); медалями «За освоение целинных земель» (1956), «За трудовую доблесть» (1957), «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина», а также тремя медалями ВДНХ (1963, 1967, 1968). Ему присвоены также звания Почетный гражданин городов Краснодара (1966) и Гулькевичи (2000), Куцевского (2001), Красноармейского (2005), Белоглинского (2006) и Ленинградского (2006) районов Краснодарского края, Почетный профессор Майкопского государственного технологического университета (2005).

За большой вклад в становление и развитие сельского хозяйства, развитие науки и образования, укрепление дружеских связей адыгского и русского народов Иван Тимофеевич награжден высшей наградой Республики Адыгея – медалью «Слава Адыгеи». Вручая награду, Президент Адыгеи Аслан Тхакушинов отметил, что все достижения Ивана Трубилина на ниве науки и образования, его актив-

ная общественная деятельность во многом способствовали не только появлению высокопрофессиональных кадров, но и крепили экономический потенциал Кубани и Адыгеи. Благодаря усилиям Ивана Трубилина тогдашний Кубанский сельхозинститут встал в один ряд с ведущими учреждениями высшего образования страны, именно здесь были созданы уникальные научные разработки, позволившие сделать огромный рывок в развитии агропромышленного комплекса.

Поблагодарив Аслана Тхакушинова за вручение высшей награды Адыгеи, Иван Трубилин подчеркнул, что это, прежде всего, подтверждение правильности выбора главного направления деятельности Кубанского государственного аграрного университета – подготовки профессиональных кадров для агропромышленного комплекса. За все время существования вуза особое отношение со стороны руководства и преподавательского состава было к студентам из Адыгеи, всегда считавшимися одними из самых лучших.

О том, как изменился Кубанский государственный аграрный университет под руководством академика И.Т. Трубилина, можно судить по следующим показателям: в 1972 г. здесь было 10 факультетов, а к 2007 г. их стало 25; количество студентов возросло с 6900 до 18000 чел., а преподавателей – с 600 до 1100 чел, из которых 785 имеют ученую степень; в том числе каждый пятый из них – доктор наук.

Иван Тимофеевич гордился университетом и его профессорско–преподавательским коллективом. С момента образования вуз подготовил более 100 тысяч специалистов, из них более 80 тысяч – за годы работы И.Т. Трубилина на посту ректора, в том числе около 10 тысяч – из стран Азии, Африки, Латинской Америки. Все его думы и помыслы всегда были направлены на процветание любимого вуза и родной Кубани.

Требовательный к себе, всегда погруженный в работу, Иван Тимофеевич с такой же требовательностью относился к своим ученикам и коллегам. Ему близки были слова Н.И. Вавилова: «Жизнь коротка – надо спешить», – он боялся недоделать то, что в его силах.

Приведем несколько характерных высказываний об Иване Тимофеевиче Трубiline – ректоре, ученом, педагоге, общественном деятеле и просто о человеке – Человеке с большой буквы:

Ф. Безрук, журналист: «...Когда вспоминаю Ивана Тимофеевича, то убеждаюсь, что академик жил будущим и «видел то, что временем закрыто». И это касается не только совершенствования процессов обучения, укрепления материально–технической

базы вуза, подготовки профессиональных кадров. Великий человек – он и в малом велик...».

В.А. Бекетов, выпускник КСХИ: «Подвижничество – вот как можно охарактеризовать трудовой и жизненный путь Ивана Тимофеевича Трубилина, образец для подражания молодому поколению».

Т. Васильева, журналист: «...Иван Тимофеевич очень тяжело перенес начало перемен в стране. Но, как человек основательный, мудрый, рассудил: надо просто жить как прежде, заниматься своим делом, не круша старого, а бережно сохраняя все лучшее. А что лучшее – им самим решать. Иван Тимофеевич – из тех руководителей, кто понимает: никакие высокие идеи не могут оправдать пренебрежение интересами человека–труженика, будь то аспирант или академик с мировым именем. То, что называется социальной политикой, во все времена, на всех должностях определяло деятельность Трубилина. И детский сад для студенческих семей, и роскошную базу отдыха в Кринице, и профилакторий, и квартиры каждому аспиранту – все это были идеи ректора, поддержанные его коллегами. Но мало предложить, надо еще суметь в наше время заработать на все это деньги. Заработали. Иван Тимофеевич Трубилин получил звание Героя Социалистического Труда последним в СССР. Последним из могикан его называют друзья. Но как же много сделал он для сегодняшней России!».

Р.А. Гиш, профессор: «Иван Тимофеевич Трубилин был хорошо известен в нашей стране и как крупный ученый-экономист, и как талантливый педагог, и как видный государственный и общественный деятель. И во всех этих ипостасях он пользовался безграничным уважением учеников, коллег и многочисленных выпускников Кубанского госагроуниверситета. Иван Тимофеевич безмерно любил свою страну и гордился ею, но никогда не оценивал и не выбирал друзей по национальной принадлежности. В нем было генетически заложено редкое, я бы даже сказал, очень редкое сочетание таланта и эрудиции, трудолюбия и энергии, стойкости и порядочности».

Н.И. Горовой, Герой Социалистического Труда: «45 лет мы идем по жизни рядом, в радостях и в сложных моментах. Когда жизнь выбросила меня на обочину дороги, первым, кто протянул руку помощи, был Иван Тимофеевич, а не близкие друзья. В любой ситуации можно быть уверенным, что он никогда не оставит без помощи или дельного совета».

И.В. Дубравина, профессор: «...Мы, люди, работающие под его началом, пусть не всегда осознаем, но убеждена, всегда ощуща-

ем его присутствие в наших судьбах и его влияние на нашу жизнь. Каким я знаю нашего ректора? В общении – он всегда доброжелателен и приветлив, очень деликатен. В работе у него нет мелочей. Не раз была свидетелем, как он обстоятельно и грамотно вникает и разбирает насущные проблемы самых различных специальностей вуза. Нашего ректора можно встретить в саду, на опытном поле, молочно-товарной ферме, в перерабатывающем цеху... Он знает обо всем не понаслышке. И все-таки не только это, по моему мнению, делает его выдающимся руководителем. Иван Тимофеевич обладает уникальным аналитическим мышлением, он великий стратег, что в совокупности с его жизненным опытом и нравственными убеждениями, позволяет безошибочно выделять приоритеты деятельности и реализовывать их в действительность с безошибочно подобранной командой. И еще – по натуре он – созидатель».

Ф.П. Зырянов, профессор: «Есть у Ивана Тимофеевича еще одна черта – его беспредельная вера в инициативу людей. Эта вера создавала ему добрую питательную среду и, я часто замечал, доставляла большую радость. Однако эта вера в людей не мешала ему лично браться за сложные проблемы, которые вставали перед ним, и выискивать те, что были на первый взгляд глубоко спрятаны. При этом способность радоваться успехам не изменяла ему, проявляясь даже в мелочах, – в том, как он общался с людьми, как помогал другим, с какой ненасытностью и целеустремленностью решал каждую новую задачу... Творческая работа не терпит обыденщины, серости, трафарета. Трубилин научился спрашивать с себя, подводить итоги за каждый прожитый день – и в каждый новый день вступать с ясной целью, с желанием сделать его продуктивнее предыдущего. Таким вот мечтателем и искателем остается Иван Тимофеевич все годы, что я знаю его. Поражаюсь его энергии. Как хватает его на нее? Сколько мелких и больших, важных и ответственных дел приходится на его долю каждодневно! ... Неустанная забота о людях, их нуждах и чаяниях, – такова, по мнению профессора, одна из главных черт характера Трубилина–руководителя, Трубилина–человека: Жизнь убедила Ивана Тимофеевича: во главу угла надо ставить интересы человека – материальные и духовные. Первоочередной в работе ректората стала забота о создании достойных социально-бытовых условий для студентов и преподавателей... В чем сила руководителя? В личном примере, разумеется. Многие отмечали: у

Трубилина характер ровный, голоса никогда не повысит. Старается, как бы трудно ни было, найти верный ключик к душе человека, разбудить в нем гражданскую гордость. Доверяя работникам, старается воспитать в них чувство ответственности за свой труд».

Исидор, Митрополит Екатеринодарский и Кубанский: «Самым бесценным наградил его (Ивана Тимофеевича. – Авт.) Бог – щедрым сердцем, добротой и человечностью – качествами, которые нельзя купить ни за какие сокровища мира».

А.Т. Казарцева, профессор: «...Много в своей жизни мы встречаем людей. Кто-то оставляет добрый след, кто-то не очень. А кто-то стал для нас судьбоносным человеком – верным другом, добрым советчиком, опорой в жизни. Мне повезло. Иван Тимофеевич Трубилин вошел в мою жизнь неожиданно, как ангел-хранитель, посланный мне Богом, в самые трудные дни моей жизни. Прошло с того времени немало лет, но и сейчас я помню каждое его слово, поддержку, успокоение, направление поведения. Он не только поверил в меня, но и поддержал, помог. Благодаря ему, его мудрости, сердечной, душевной теплоте, я защитила докторскую диссертацию, сейчас живу и могу работать, заниматься любимым делом, чувствуя постоянно его понимание и поддержку. Он любит людей и спешит делать им добро. Я слышу о нем только добрые слова. Он всем помогает и советом, и делом. Как хочется, чтобы на земле было больше таких людей, как Иван Тимофеевич».

В. Колесник, журналист: «...Главная заслуга Ивана Тимофеевича Трубилина в том, что он пестовал и вырастил целую плеяду ученых, которые внесли огромный вклад в агропромышленный комплекс Кубани и России».

Н.И. Кондратенко, выпускник КСХИ: «Дорогие друзья, какое огромное счастье выпало на нашу долю, что Иван Тимофеевич родился на Кубани, нам посчастливилось работать и общаться с ним. Как проиграла Россия, когда он отказался от предложения уехать в Москву и быть министром сельского хозяйства. Иван Тимофеевич человек – компетентный во всех вопросах, отличный организатор и необыкновенной души человек. Во многих критических ситуациях своей жизни я советовался с Иваном Тимофеевичем, это были всегда своевременные, дельные советы, помогающие правильно разрешить ситуацию, и он никогда не кривил душой. Ум и организаторские способности, умение создать теплую атмосферу в коллек-

тиве, доброжелательность и гостеприимство, отеческая забота о каждом сотруднике, феноменальная память, порядочность и скромность Ивана Тимофеевича вызывали восхищение. Стараниями Ивана Тимофеевича университет, как могучее дерево, не только глубоко и крепко пустил корни по всей земле кубанской, но и разнес свои семена – выпускников с дипломами магистров сельскохозяйственных наук по всему белому свету, включая многие страны Азии, Африки и Латинской Америки».

Н.С. Котляров, профессор: «У него феноменальная память. Он всех знает по именам, непременно поговорит, расспросит и заведующего кафедрой, и дежурную общежития, и повара. Причем, не только работой интересуется. Он умудряется все помнить – у кого болен ребенок, кому нужна помощь и у кого день рождения... Удивительное свойство природы: сочетать способность мыслить масштабно, на перспективу, и стремление вникнуть в каждую мелочь».

В. Ламейкин, журналист: «...Иван Трубилин – титан. На политическом небосклоне Кубани, прежде всего, известны его заслуги в развитии сельского хозяйства и всего Краснодарского края в 50–60-е годы. Он – титан в научной деятельности, как крупный организатор и ученый, превративший КубГАУ в один из центров мировой сельскохозяйственной науки. Это по плечу только сильной, неординарной личности. Титан – и в человеческом плане. Его отличали такие качества, как ответственность за порученное дело и данное слово, обязательность в отношениях с соратниками, подчиненными и друзьями, верность к семье и последовательность в воспитании достойных детей. Трубилин унаследовал сильный генетический код, сильные православные корни. Рожденный в станице, он априори был подготовлен к тяжелой жизненной ноше. А когда судьба шла ему навстречу, он не избегал ответственности, взваливал на себя все больше и больше, постоянно поднимая планку. И закономерно встал вровень с эпохой...».

А.М. Ловпаче, председатель Тахтамукайского райисполкома: «Есть люди, от общения с которыми получаешь положительный импульс – заряжаешься энергией, начинаешь задумываться, глубже понимать происходящее. К таким я отношу Ивана Тимофеевича Трубилина. Основные его личные качества: доброжелательность, скромность, учтивость и широкая эрудиция. Но самое главное, что я почерпнул от него, так это умение слушать и слышать, уважать коллег, человека и его мнение».

А.А. Лысенко, профессор: «Есть люди, у которых на земле особое предназначение – творить добро. Созидать. Им все удается. Все, к чему они прикасаются, оживает, расцветает, имеет долгую счастливую жизнь. К таким людям, без сомнения, относится ректор нашего университета. Одним из примеров его созидательной деятельности можно считать создание факультета ветеринарной медицины. В далеких теперь 70–х годах Иван Тимофеевич задумал открыть первый на Кубани факультет по подготовке ветеринарных врачей. Лично поехал в Одессу, где выбрал самый современный проект корпуса факультета, специально спроектированный для подготовки айболитов. В 1974 г. с легкой руки Ивана Тимофеевича, а точнее, лично его рукою был подписан приказ о зачислении 50 абитуриентов на первый курс ветеринарного факультета Кубанского сельскохозяйственного института...».

Н.М. Маковка, профессор: «...Иван Тимофеевич вошел в институт деловито и скромно, как вообще приходят на работу люди, знающие, что у них дел – непочатый край. Время его адаптации к вузовским условиям было минимальным и незаметным. Конечно, все видели, что он переживает, присматривается, осторожно делает свои первые шаги в новом качестве. И это понятно. Придя на новое место работы, каждый руководитель оказывается перед проблемой выбора стиля. Умение избрать верный стиль руководства, соответствующий ожиданиям и возможностям коллектива, – большое искусство руководителя. Именно от этого во многом зависит успех его деятельности. Ивану Тимофеевичу импонировали демократические методы управления вузом: опора на ученый совет, ректорат, деканаты факультетов и кафедры, партийную, комсомольскую, профсоюзную и другие общественные организации института. Довольно скоро раскрылся его научный потенциал, накопленный за годы работы и непрерывных научных поисков. В 1974 г. ему присвоено ученое звание профессора, а в 1975 г. он защищает докторскую диссертацию, в 1983–м И.Т. Трубилина избирают членом–корреспондентом ВАСХНИЛ, а пятью годами позже – действительным членом (академиком) ВАСХНИЛ. Уже в те годы Иван Тимофеевич Трубилин заявил о себе как крупный ученый и видный организатор экономической и сельскохозяйственной науки. Возглавляемый им институт стал общепризнанным научным центром и подлинной кузницей кадров на всем Северном Кавказе. И работать, и учиться в Кубанском сельхозе стало престижно и довольно ответственно...».

Н.Г. Малюга, профессор: «Это было в 1986 г. Прихватил меня инфаркт. Попал я в больницу. Представляете, одной ногой уже там. Приходит проведать меня жена. Говорит: «Звонил Иван Тимофеевич, просил узнать, какие лекарства тебе нужны. Обещает помочь». – «Какой Иван Тимофеевич?» – спрашиваю. – «Ректор сельхозинститута», – отвечает. А я ничего не пойму. Причем здесь ректор? Работал я до этого 20 лет в КНИИСХе, потом в Институте удобрений. Если бы позвонили те директора, было бы понятно. А Иван Тимофеевич, видимо, знал меня, когда работал в управлении сельского хозяйства. Так вот и лекарства помог достать, и все время интересовался здоровьем. Когда я выздоровел, он пригласил меня на работу в университет на должность профессора».

Н. Михайлов, публицист: «Некоторые считают, что ректор – это парадная должность: сиди себе в кабинете, принимай гостей, веди с ними дипломатические беседы, да чай гоняй! Нет, тысячи проблем тяжким грузом давят на ректора каждый день, а огромная ответственность обязывает быть за все в ответе, быть тружеником, чернорабочим... Признано, что одной из отличительных черт Трубилина–ректора является его умение работать с людьми, организовывать работу в интересах общего дела. Он всегда стремится подбирать на ту или иную должность не исполнителя, а человека. Когда ему говорят: это хороший работник, знающий специалист, умелый организатор, – он тут же спрашивает: «А каков он как человек? Как относится к своим подчиненным, к преподавателям, студентам? Как он с ними разговаривает, общается? Как он их хвалит, да и ругает тоже, – сопереживает или, наоборот, унижает их человеческое достоинство, оскорбляет?». Как–то буквально на ходу, – продолжает свой рассказ Н. Михайлов, – услышал от него фразу: «Не верю в людей без недостатков, – скорее всего, они умело скрывают их. Открытый человек всегда честнее и надежнее». Да, это проверенный принцип. К тому же Иван Тимофеевич привык работать на полном доверии к людям... В коллективе о ректоре говорят: Иван Тимофеевич – добрый человек. Это, вне всякого сомнения, высочайшая оценка! Ведь добра и тепла в человеке никогда не бывает чуть–чуть: их или много, или нет совсем. И если они есть, добро и тепло, то никогда не дозируются, не расходуются по кусочкам, а отдаются людям сразу целиком, без остатка».

И. Мочалова, журналистка: «... Почти за 40 лет институт, а теперь университет, он превратил в город–сад, которому нет рав-

ных среди вузов всей страны. Учебные корпуса и научно-исследовательские лаборатории, студенческие общежития и спорт-комплекс с бассейном, ботанический сад и столовые, поликлиника и учебно-опытные хозяйства, жилой городок и база отдыха у моря – все это было создано под его руководством...».

Т.С. Непикуева, профессор: «...Когда я пришла на кафедру и проработала несколько месяцев, от своих коллег я слышала такие восторженные слова: «Какой у нас красивый ректор!» И эти слова никогда не теряли своего значения. Высокий, красивый, голубоглазый, открытый, приветливый, внимательный, деловой, грамотный. Для него не существует маленьких, незначительных вопросов. С чем бы ты ни пришел, всегда можешь рассчитывать па понимание и поддержку потому, что его заботит все, что касается его детища. Он отстроил вуз, оснастил его кадрами, оборудованием, социально-культурными и оздоровительными подразделениями. Сохранил и преумножил созданное вопреки всем ветрам и непогодам нашего времени. Да, это красивый человек. И все в нем прекрасно. Его работа, его достижения в области науки, его вклад в развитие нашего общества заметны не только у нас, но и далеко за рубежом».

Л.М. Онищенко, профессор: «...Мимо внимательного и пытливого взгляда ректора не ускользает ни одна проблема студенчества. С отеческой заботой и присущей Ивану Тимофеевичу скрупулезностью в подходе к серьезным проблемам, он спрашивает лидеров студенческого самоуправления о выплате материальной помощи, о подходах к назначению социальной стипендии, об участии студентов в работе СНО, о распределении путевок в санаторий-профилакторий «Нива» и спортивно-оздоровительный лагерь «Криница», об условиях проживания в общежитии... Большая заслуга нашего ректора и в том, что в университете открыты и успешно работают диссертационные советы. Пристальное внимание и объект постоянной заботы у Ивана Тимофеевича – качество образования, методика преподавания и материальное обеспечение, как учебного процесса, так и научных лабораторий, компьютерных классов».

П.Е. Придиус, журналист: «В свои 70 лет он не разучился удивляться, загораться новыми идеями, поддерживать их и воплощать в реальность... У крупного ученого, академика – дел невпроворот, по горло, так сказать. А он умудряется... досконально знать практически все. Ибо это единственный путь мудрого руководства

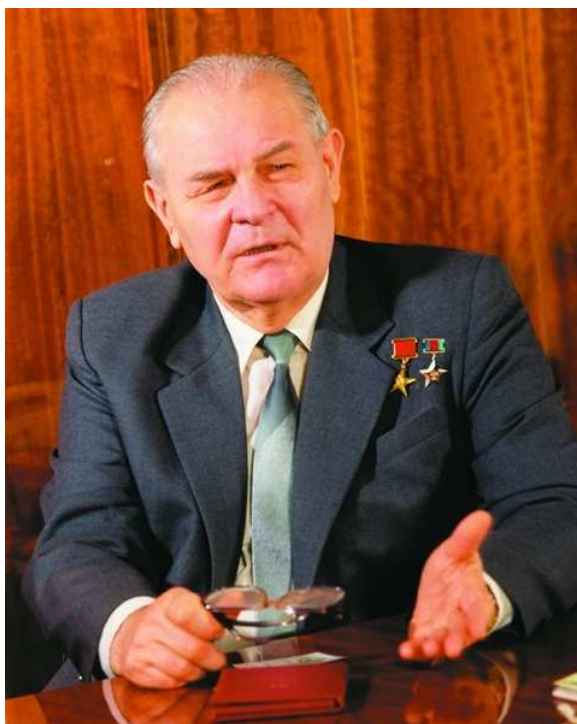
– понимание тонкости дела. Понимание его сути, сути и смысла проблемы или направления. Говорят, мелочи действуют только на мелких людей, для умных – они повод сделать вывод.

Сколько лет именно это учебное заведение, и именно благодаря его ректору, придерживается однозначной и ясной позиции в подготовке и подборе студентов: учиться должен тот, кто завтра будет работать на земле, на ферме, кто вернется в родные края специалистом, чтобы отдавать свои силы земле. Сегодня нет хозяйства в крае, где не работали бы выпускники Трубилина. Если говорить о жизни как о поле, с которым мы свое земное пребывание сравниваем, то поле Трубилина любовно им возделано до мелочей. Это он помог вырастить уникальный урожай новых, грамотных специалистов, дело которых – любить все, чем живет сегодня вся страна...

Та долгая беседа в кабинете ректора завершилась приятным чаепитием. Мы покидали агрогородок поздним вечером. На темном небе мерцали голубоватые звезды, справа и слева нас провожали ряды высоких, с причудливыми кронами деревьев. Было такое ощущение, словно мы покидали какое-то сказочное государство, пропитанное теплом и светом, и снова окунались в обычную, будничную жизнь. Пришло на ум рискованное, по сути (по форме – не по содержанию, конечно!), сравнение: Ватикан. Государство в государстве. Со своими обычаями и законами. Просвещенное. Отлаженное. Разумное.

Невольно подумалось: счастливые вы, люди! Счастливые все, кто здесь учится и учит. Кому выпало работать и жить, радоваться и печалиться, да и просто-напросто дышать одним воздухом рядом с Иваном Тимофеевичем Трубилиным, большим ученым, незаурядным организатором, увенчанным высокими званиями, наградами, а по большому счету – на редкость уникальным человеком. Созидателем!».

Г.Н. Прокопец, выпускник КубГАУ: «У меня скромная задача – поделиться впечатлениями, которые сложились у нашего выпуска и лично у меня (все-таки я был старостой группы) от встреч с ректором. Во втором семестре на третьем курсе (1970 год) нам объявили, что экономику сельского хозяйства будет читать новый ректор. Студенты восприняли это настороженно, даже с тревогой, все-таки высшая власть в институте, мы изрядно волновались... Но первая же встреча приятно удивила нас и развеяла все наши сомнения. В аудиторию вошел высокий, красивый, открытый, приветливый и молодой мужчина (как оказалось, ему не было тогда и сорока лет).



Академик
И. Т. Трубилин



Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина



День знаний. В.В. Путин и И.Т. Трубилин, 2005 г.



Дружественная беседа И.Т. Трубилина с В.В. Путиным



Н.И. Кондратенко, И.Т. Трубилин



И.Т. Трубилин, А.Н. Ткачев



А.К. Тхакушинов, И.Т. Трубилин



В.А. Масливец, И.Т. Трубилин, Е.М. Харитонов, 2006 г.



Председатель Краснодарского крайисполкома И.Т. Трубилин на трибуне, 1963 г.



На митинге, 1964 г.
(слева направо) С.Т. Непшекуев, Г.И. Воробьев, И.Т. Трубилин



Академик И.Т. Трубилин



Встреча руководства Краснодарского края с Героями Труда.
А.Т. Кузовлев, Н.И. Осадчий, И.Т. Трубилин, А.Н. Ткачев, В.Я. Первицкий,
А.И. Гаманенко, 2000 г.



Герой Социалистического Труда, Герой Труда Кубани И.Т. Трубилин



Губернатор Краснодарского края А.Н. Ткачев и И.Т. Трубилин осматривают посевы пшеницы, 2003 г.



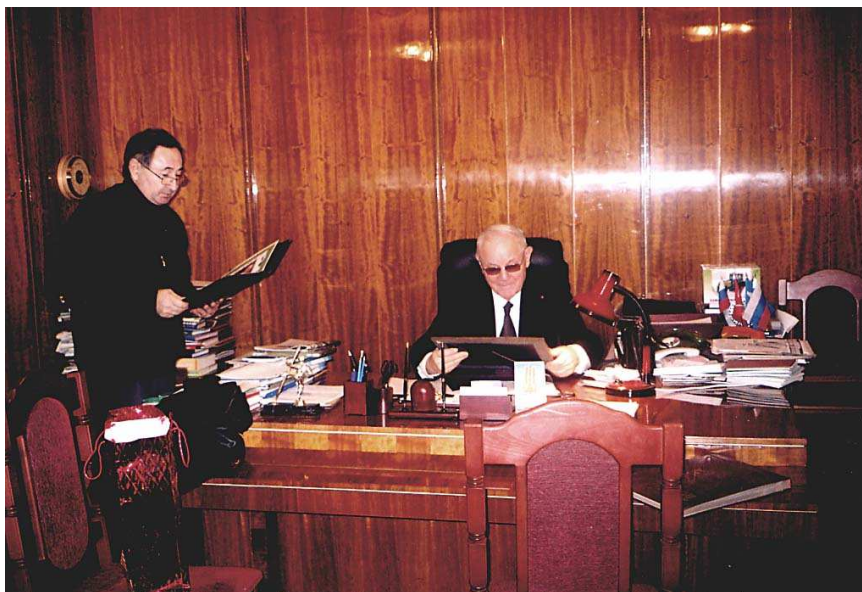
И.Т. Трубилин выступает с приветственным словом. Межвузовская студенческая конференция, 2005 г.



И.Т. Трубилин с делегацией Республики Адыгея на международном симпозиуме во Всероссийском НИИ риса.
А.А. Кушу, Г.Г. Козменко, А.Х. Шеуджен, А.К. Тхакушинов, И.Т. Трубилин,
А.А. Цей, Н.Х. Джаримов, Э.М. Трахов, Р.И. Хачак



Ведущий агрохимик России академик В.Г. Минеев
(в центре) в гостях у ректора, 2005 г.



А.Х. Шеуджен, И.Т. Трубилин



С.М. Резниченко, А.Х. Шеуджен, Н.С. Котляров, А.К. Тхакушинов,
И.Т. Трубилин, Х.Р. Блягоз. КубГАУ, 2005 г.



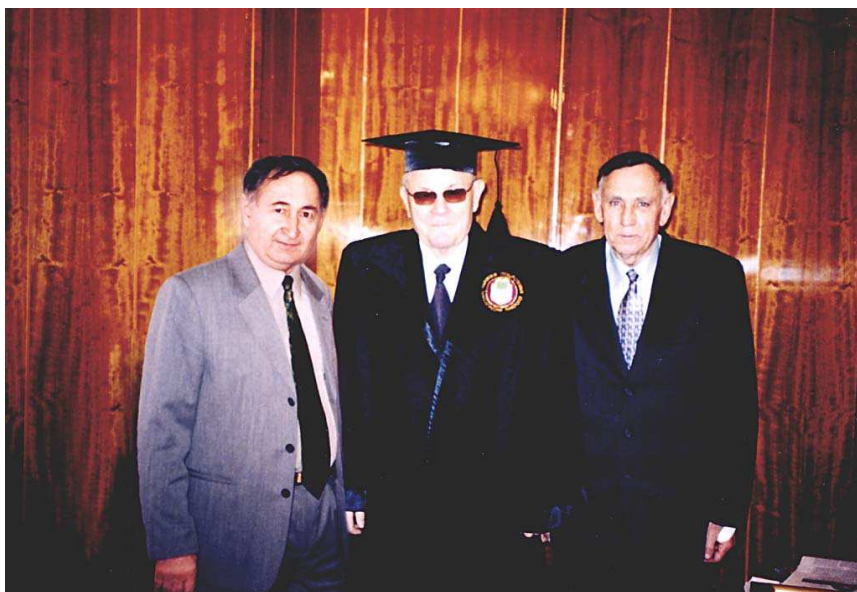
Х.Д. Хурум, И.Т. Трубилин, А.Х. Шеуджен, А.С. Найденов
Адыгейский научно-технический центр риса



А.Х. Шеуджен, И.Т. Трубилин, А.К. Тхакушинов, А.С. Найденов



Д.З. Долев (министр финансов РА), И.Т. Трубилин, А.Х. Шеуджен



И.Т. Трубилин в мантии Почетного профессора Майкопского государственного
технологического университета
А.Х. Шеуджен, И.Т. Трубилин, В.М. Мордалев



А.Х. Шеуджен знакомит И.Т. Трубина с работой кафедры агрохимии, 2005 г.



В день вручения И.Т. Трубилину диплома доктора философии
Оксфордской образовательной сети



С.В. Кизинек, А.И. Трубилин, А.Х. Шеуджен, И.Т. Трубилин,
проректор Международного университета фундаментального обучения
Ю.А. Симакин, Х.Д. Хурум



А.М. Ловпаче, И.Т. Трубилин, Р.М. Хуг, А.Х. Шеуджен, А.С. Найденов



В гостеприимной семье Асланбека Меджидовича
и Тамары Хаджиметовны Ловпаче



Встреча И.Т. Трубилина с членами Правительства Республики Адыгея



Ивана Тимофеевича тепло провожали члены Правительства Республики Адыгея после вручения высшей награды республики медали «Слава Адыгеи»



Свою первую лекцию он посвятил знакомству, для нас это была новизна. Каждый коротко рассказывал о себе, а ректор задавал вопросы. Когда очередь дошла до Вани Каляюша, Иван Тимофеевич неподдельно обрадовался – оказывается, они не только тезки, но и земляки (оба из Кущевского района). В дальнейшем он неоднократно интересовался у моего друга, как там поживает их малая родина, ибо ему катастрофически не хватало времени бывать там чаще.

Мы все видели, что ректор переживает, делая первые шаги в новом качестве и, можно сказать, что педагогический дар будущего академика начал закладываться с лекций, которые он читал нашему курсу. Почти на каждой лекции он живо интересовался нашим бытом, проблемами, успехами. Однажды на лекции ребята внесли предложение по улучшению дел в общежитии (в первом корпусе), где сложилась неблагоприятная обстановка с мебелью. Иван Тимофеевич принял мгновенное решение, пригласив в аудиторию проректора по хозяйству. Нам же поставил условие погрузочно-разгрузочные работы взять на себя, а старостам доложить, что все выполнено с большим усердием. В течение семестра он еще неоднократно оказывал нам помощь не только в обустройстве общежития, но и в других вопросах жизни.

Какими бы проблемами мы не делились с ним, всегда находили поддержку и понимание, несмотря на его огромную занятость. Своими действиями он прививал нам навыки принятия решений в различных жизненных ситуациях. Уже одно то, что ректор разговаривает со студентами на равных, имело большое воспитательное значение. Так у нас постепенно сложились теплые, доверительные и деловые отношения, что, несомненно, положительно отражалось на нашей учебе.

Накануне сессии мы испытывали волнение, стыдно было ударить в грязь лицом перед таким педагогом. Но Иван Тимофеевич на последней лекции сообщил, что для объективной оценки наших знаний экзамен он будет принимать вместе с преподавателем, ведущим практические занятия. Для нас это было впервые, но такое решение мы нашли правильным. На экзамене его интересовало не только знание теоретических вопросов, но и то, как мы владеем экономической ситуацией своих хозяйств и районов, откуда приехали на учебу.

В последующие два года нам неоднократно приходилось быть очевидцами, с какой заботой ректор относится к своему де-

тишу. Он регулярно обходил владения каждой кафедры, внимательно выслушивал доклады, просьбы и пожелания заведующих. Здесь же принимал соответствующие решения. На наших глазах разворачивалось мощное строительство учебных корпусов, общежитий для студентов, жилья для преподавателей.

С развалом великой державы изменился общественно-экономический строй, начали претворяться в жизнь волчьи законы дикого капитализма, государство бросило предприятия и целые отрасли на произвол судьбы. Но Кубанский аграрный университет не только устоял и выжил, но и продолжал расти, шириться, преобразовываться и превратился в лучший среди аграрных вузов страны. В этом величайшая заслуга Личности, его возглавлявшей. Поэтому мы гордимся, что нам была предоставлена уникальная возможность получить уроки жизни у такого талантливого педагога, Учителя с большой буквы».

Г.П. Разумовский, выпускник КСХИ: «Бывают в жизни дни, когда подытоживаешь прошлое, копаешься в былом и напрашиваются мысли, что в жизни бывают попугачики, бывают имитаторы бурной деятельности, а есть созидатели. Иван Тимофеевич именно ректор-созидатель, создатель лучшего аграрного университета, за знаниями сюда ехала и едет молодежь со всей страны».

В. Рунов, писатель: «... чем больше я стремился погрузиться в атмосферу взаимоотношений Ивана Тимофеевича с людьми, так или иначе, прошедшими через его жизнь, тем меньше понимал, в чем же заключался секрет его человеческого магнетизма. Этой его способности даже в самые острые периоды политических переломов (вспоминаются времена Сталина, Хрущева, Брежнева, Андропова, Горбачева, Ельцина) сохранять человеческую притягательность, уходить от интриг, групповщины, клановости, которые часто для многих становились почти обязательным условием достижения успешности. ... Повторю, энергетика невероятного обаяния как раз и подпитывалась за счет того, что он никогда не выстраивал систему взаимоотношений в зависимости от высоты положения той или иной личности или ее месторасположения на служебной ступеньке...».

В.Г. Смирнов, профессор: «Меня поражает удивительная способность Ивана Тимофеевича помогать людям, попавшим в беду. И здесь не имеет значения – профессор ты или рядовой служащий. Помощь приходит и тогда, когда заболевает кто-то из членов семьи. И через время он не забудет поинтересоваться, все ли наладилось».

Л.С. Турбина, член Союза журналистов России: «...Все достижения университета – результат неутомимой заботы И.Т. Трубилина, творца и создателя. Президент России В.В. Путин, побывавший в университете на Дне знаний 1 сентября прошлого года (2005 г. – **Авт.**), высоко оценил работу вуза и выразил свое удовлетворение увиденным и услышанным. «Профессия, которую получают студенты, – сказал В.В. Путин, – самая нужная, потому что без сельского хозяйства человечество просто не может существовать».

Все новое, высококласное сосредоточено в вузе. Новые компьютерные технологии, высокий профессионализм профессорско-преподавательского состава, современные методы обучения, высокая успеваемость студентов и трудоустройство выпускников. И главное – стремление стать лучшими. И все потому, на мой взгляд, что руководит университетом любимый ректор – Иван Тимофеевич...».

А.К. Тхакушинов, академик Российской академии образования: «Душа Ивана Тимофеевича была способна вместить весь наш большой мир. Она была открыта всем, кто хотел приобщиться к ее богатствам. Независимо от ранга он всех своих многочисленных друзей с радушием встречал у себя в кабинете, где царила творческая атмосфера. Для каждого находил уголок в своей огромной душе, отзывчивой, теплой и согревающей. Была у него особая черта – беспредельная вера в инициативу людей и эта вера доставляла ему большую радость».

А.А. Хагуров, профессор: «...Часто люди, долгие годы, пребывающие на больших должностях, теряют способность к искреннему человеческому общению, а маска чиновника-руководителя прирастает к их лицу, фактически лишая своего лица. Такие люди даже в нерабочей обстановке общаясь, не могут забыть свой ранг, пребывают себе на уме, лицемерят, всем давая оценки, результаты держа «про себя». В конечном счете, их надо пожалеть. Они лишаются самого ценного в нашей жизни – того, что великий французский писатель XX века назвал «роскошью человеческого общения». Вместо общения судьба–карьера, часто действующая как злодейка, предопределила им «взаимодействие». При общении с Иваном Тимофеевичем совершенно не чувствуется его многолетнее руководящее прошлое. Меня сразу поразило обаяние большого, доброго человека, искреннего, получающего удовольствие от общения и передающего это удовольствие собеседнику. Работая в агроуниверситете, я понял и другое, что Иван Тимофеевич профессионал–управленец высшего класса...».

Е.М. Харитонов, академик РАН: «Мне посчастливилось знать И.Т. Трубилина более 30 лет. В 1970 г., когда он только-только стал ректором Кубанского сельскохозяйственного института, я завершал учебу в этом вузе и уже тогда мог оценить незаурядный характер Ивана Тимофеевича. Контакты с ним, как с ректором, организатором аграрной науки и образования, да и просто знающим, весьма приятным в общении человеком, не прерывались и позже, и тогда, когда я работал начальником производственного управления сельского хозяйства Курганинского района (1975-1985), и когда был назначен председателем Лабинского райисполкома (1985-1987), и когда был избран первым секретарем Лабинского горкома КПСС (1987-1990), и когда в 1994-1996 гг. был главой администрации Краснодарского края. Но особенно близко мне удалось узнать Ивана Тимофеевича в годы, когда я работал проректором Кубанского государственного аграрного университета (1996-1998). Практически ежедневно общаясь с ним по работе, решая зачастую сложнейшие вопросы, которые ректорату приходится рассматривать чуть ли ни каждый день, мне открывались все новые и новые грани характера И.Т. Трубилина: колоссальная трудоспособность, исключительная доброжелательность, любовь к людям, справедливость в решении тех или иных вопросов, верность своему слову, высокое чувство собственного достоинства. Если же добавить к этому энциклопедические знания, научную добросовестность, дар педагога и несомненные организаторские способности, то становится ясно, что ректор не случайно обладает столь высоким авторитетом, и как человек, и как ученый, и как организатор аграрного образования, и как общественный деятель».

Р.М. Хут, Первый секретарь Красногвардейского райкома КПСС: «В бытность Ивана Тимофеевича Трубилина Председателем Краснодарского крайисполкома мне неоднократно приходилось с ним встречаться. Каждая такая встреча для меня стала памятной – интересной, полезной и давала пищу для размышления. Судьба благоволила нашему общению, переросшему в настоящую дружбу. Его высокая порядочность, деловитость, ясность, принципиальность, требовательность к себе и окружающим, изумительные качества руководителя дают мне, уже в почтенном возрасте все основания сказать, что Иван Тимофеевич был личностью незаурядной, таким же он был и человеком».

В.М. Шевцов, академик РАН: «В жизни каждого выпускника Кубанского сельскохозяйственного института этот вуз имеет

большое значение. Он всегда ассоциируется с именем академика И.Т. Трубилина. Уже много написано о нем и его жизни в статьях и книгах. Если говорить кратко и не повторяясь о его качествах и достоинствах, я бы назвал его удивительную доброту и человечность, родительскую заботу о человеке. Я знаю несколько известных ученых, которые многим ему обязаны. Они благодаря его помощи просто выкарабкались из сложной критической ситуации, связанной с состоянием здоровья».

В заключение своего очерка хотел бы отметить, что Иван Тимофеевич был Учителем для огромного количества людей. Каждый человек, соприкоснувшийся с ним, ощущал его доброжелательное и великодушное отношение к себе, оптимистическое восприятие действительности. Ивана Тимофеевича я также считаю своим Учителем. Он не был моим научным руководителем, но я очень многому у него научился как в научном плане, так и человеческом. В свое время я получил из рук Ивана Тимофеевича диплом об окончании Кубанского сельскохозяйственного института; по его рекомендации был включен в состав диссертационного совета в Кубанском госагроуниверситете после защиты докторской диссертации в уже далеком 1993 г.; он предложил мне возглавить кафедру агрономической химии. Иван Тимофеевич выдвинул мою кандидатуру на избрание членом-корреспондентом Россельхозакадемии. По его представлению мне было присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации». Бесценный опыт я приобрел при нашей совместной работе над книгами: *«История аграрного образования на Кубани»*, *«Экономическая и агроэкологическая эффективность удобрений»*, *«Эколого-экономическая оценка удобрений»*, *«Патриарх почвоохранного земледелия России»*, *«Кубанский госагроуниверситет на рубеже двух веков»*, *«Удобрения и оценка экономической эффективности их применения»*.

Иван Тимофеевич умел общаться с людьми разного возраста, профессий, статуса. В его кабинете постоянно находились люди – свои, университетские, выпускники и коллеги из всех уголков нашей необъятной страны. Самые разные люди, которые попадали в кабинет Ивана Тимофеевича и под его обаяние, включались в интереснейшие дискуссии о науке и образовании. Центром всего этого был он сам с его негромким голосом и доброжелательной улыбкой. Беседы, как правило, были продолжительными... Он был тер-

пелив, и терпим в общении. Никогда не шел на конфликт, он просто уходил. Есть в этом мудрость. Не допускать негатив в душу. Возможно, поэтому его никогда не интересовали должности и регалии, все то, что связано с принятием решений в отношении людей. Это была его гражданская позиция. Иван Тимофеевич никогда не унывал, по крайней мере, никогда не выказывал этого чувства на людях, в повседневной жизни, даже в самые тяжелые для страны периоды. И я неправильно употребляю сейчас прошедшее время. Ведь он, уходя, остался с нами. В науке, образовании, в памяти, в будущем – через своих учеников и последователей.

Иван Тимофеевич обладал, безусловно, уникальным набором личных качеств – благородством, стойкостью, солнечностью, доброжелательностью, высоким чувством долга, дисциплиной ума и воли. Он служил Родине, был большим тружеником образования и науки, одаренным и мудрым. Все, что он делал как ученый, государственный и общественный деятель, делал увлеченно и вдохновенно, с необыкновенным энтузиазмом. Иван Тимофеевич покорял своей жизнерадостностью, чувством юмора, уважительным отношением к людям. Он был душевен и отзывчив, его открытое лицо с добрыми умными глазами всегда излучало теплоту, доброжелательность и радушие.

В присутствии Ивана Тимофеевича любая дискуссия приобретала конструктивный характер. Я и сейчас, когда думаю и пишу о нем, продолжаю с ним беседовать, чувствую, что душа «размягчается», мир становится огромным, радостным, загадочным, впереди столько захватывающих, нерешенных проблем.

Все, кто общался с Иваном Тимофеевичем, дано было ощутить на себе его удивительный дар располагать к себе, втягивать в орбиту созидания, способность глубоко чувствовать настроение собеседника, вникать в его дела. Он всегда старался разгадать главное в человеке, как говорил сам, его «изюминку», выявить лучшее, что заложено в нем, и на этих качествах акцентировать внимание. Иван Тимофеевич глубоко уважал в каждом человеке личность, всегда считался с мнением тех, с кем работал или беседовал. И.Т. Трубилину было присуще редкое умение встать на место собеседника, посмотреть его глазами на проблему, объективно оценить сложившуюся ситуацию и принять рациональное решение. Вероятно, можно сказать, что это – ренессансная личность, которая, естественно, не укладывалась в обычные рамки.

Завершая свой рассказ о выдающемся человеке И.Т. Трубилине, хотелось бы напомнить читателю слова великого русского писателя Н.В. Гоголя: «Забирайте же с собою в путь, выходя из мягких юношеских лет в суровое, ожесточающее мужество, забирайте с собою все человеческие движения, не оставляйте их на дороге, не подымете потом!» Вместе с героем нашего очерка – академиком И.Т. Трубилиным – мы как бы мысленно прошли его многотрудный путь, ведущий к вершинам научного Олимпа. Путь, который был насыщен множеством событий, немалых трудностей и преград, которые Ивану Тимофеевичу приходилось преодолевать, напрягая все свои силы. И, преодолевая их, всегда оставаться человеком, Человеком с большой буквы.

«Жизнь, прожитую достойно, – писал в свое время английский писатель и общественный деятель Ричард Шеридан (1795), – следует измерять деяниями, а не годами». Несомненно, основным «деянием», любимым детищем Ивана Тимофеевича является Кубанский государственный аграрный университет, которому его бессменный ректор отдал, без преувеличения, лучшую часть своей жизни. Благодаря его усилиям, один из рядовых российских вузов аграрного профиля – Кубанский сельскохозяйственный институт – на наших глазах превратился в крупнейший в стране аграрный университет. Вообще-то, статистика – сухая наука, но эти цифры никого не оставят равнодушными. Среди 85 тысяч окончивших Кубанский государственный аграрный университет – 36 Героев Социалистического Труда. В настоящее время на 100 кафедрах работают более 1000 преподавателей, среди которых 189 профессоров и докторов наук, 510 доцентов и кандидатов наук, 30 академиков и членов-корреспондентов академий, 74 Заслуженных деятелей науки России, Кубани и Адыгеи, Заслуженных экономистов, строителей, изобретателей, работников сельского хозяйства.

Цель, поставленная ректором, – сделать вуз, как говорится, «самым-самым», – достигнута, причем достигнута трудами его многотысячного коллектива, трудами его ректора. С этой точки зрения интересен ответ Ивана Тимофеевича на вопрос, заданный журналистом газеты «Кубань сегодня» (2001, 20 февраля): «Чего Вы хотели добиться в жизни?». – «Я всегда хотел быть полезным людям, делать им добро... И все, чего я хотел добиться, мне кажется, сбылось. Я имею любимую работу, хорошую семью, всегда стараюсь помогать

людям и, конечно, чтобы университет развивался и благоустраивался. А все это дает только упорный и настойчивый труд».

8 декабря 2014 г. Иван Тимофеевич Трубилин завершил свою созидательную миссию на земле. И сегодня подъезжая к Кубанскому госагроуниверситету по улице академика Трубилина, мы и в мыслях не можем представить себе, что Иван Тимофеевич покинул свое «детище» и нас навсегда. К сожалению, это факт, с которым приходится мириться. Таковы законы природы. «Он ушел из жизни в декабре на 84–м году, – пишет Владимир Рунов, – в пору, когда птицы, к сожалению, молчат. Но многие, со всех районов Кубани приехавшие на его похороны, слез не скрывали, понимая, что такие личности, как Иван Трубилин, крайне редки и практически неповторимы. Да и эпоха, создавшая их, вряд ли когда-нибудь уже случится...». Утешает одно: наследие его никогда не померкнет, и высококачественные семена, посеянные этим великим селекционером добрых душ, дают и будут еще долго давать обильные полновесные всходы, на благо родной Кубани, на благо нашей Родины.

Ивана Тимофеевича никогда не забывали выпускники и считали своим мудрым наставником. Его ценили, уважали, любили и боготворили и студенты, и убеленные сединами профессора. Все, кому посчастливилось с ним работать, отмечают его компетентность, принципиальность, умение формировать команду единомышленников. Иван Тимофеевич Трубилин останется в памяти современников, как опытный руководитель, высококвалифицированный специалист–аграрник, энциклопедически развитый ученый и талантливый педагог, и наконец, Человек с большой буквы, образец для подражания.

Жизненный путь Ивана Тимофеевича – пример преданного служения любимому делу, земле и людям, науке и Кубани, он был не только выдающимся ученым и управленцем, но и великим дипломатом с большим и добрым сердцем, золотыми руками и чистыми помыслами, для новых поколений примером стойкости и достойно прожитой жизни. След, оставленный на Земле Иваном Тимофеевичем, сохранится навсегда в памяти студентов, сотрудников, учеников, всех, кто его знал.

Автор далек от мысли о том, что в своем кратком изложении полностью выполнил нелегкую задачу исчерпывающего освещения жизни и научно-педагогической деятельности И.Т. Трубилина. «Глыбой, монолитом» называет Ивана Тимофеевича академик Е.М. Харитонов.

Действительно, описать сложный и многогранный характер столь яркого и самобытного деятеля отечественной аграрной науки второй половины XX – начала XXI вв. в достаточной степени трудно. Тем не менее, завершая этот очерк, уместно привести афоризм, пришедший к нам еще из эпохи Древнего Рима: «Feci quod potui, faciant meliora potentes», – «Я сделал все, что мог; кто может, – пусть сделает лучше». Хотелось бы надеяться, что исследование жизни и вклада Ивана Тимофеевича в аграрную науку на этом не закончилось, и оно будет продолжено и дополнено в самых разнообразных направлениях, освещающих те или иные грани его незаурядной творческой личности.

Персоналия:

1. Преподаватель вуза // Вестник высшей школы. 1985. №10. С. 3–7.
2. Иван Тимофеевич Трубилин / сост. Р.С. Слатина. – Краснодар: КубСХИ, 1988. – 17 с.
3. Никонов А.А., Крылатых Э.Н., Соскиев А.Б. К 60-летию академика ВАСХНИЛ Ивана Тимофеевича Трубилина // Вестник сельскохозяйственной науки. 1991. № 5. С. 159.
4. Иван Тимофеевич Трубилин / сост. Ф.К. Невядомская; ред. И.В. Боровских. – М., 1992. – 20 с.
5. Шеуджен А.Х., Харитонов Е.М., Бондарева Т.Н., На службе земли кубанской. – Майкоп: РИПО «Адыгея», 1999. – 552 с.
6. Котляров Н.С. Шеуджен А.Х., Турбина Л.С. Патриарх Кубанской аграрной науки. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2004. – 113 с.
7. Иван Тимофеевич Трубилин // Сельские зори. 2004. № 1. С. 6.
8. Ректор–созидатель / сост. А.Х. Шеуджен, Л.С. Турбина, Л.М. Онищенко. – Майкоп: Афиша, 2006. – 200 с.
9. Иван Тимофеевич Трубилин / сост. А.В. Косенко; ред. Л.Г. Бутко. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – 44 с.
10. Иван Тимофеевич Трубилин (25.02.1931–8.12.2014). – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 54 с.
11. Рунов В. Крик жаворонка: жизнь и судьба Ивана Трубилина. – Краснодар: ЭДВИ, 2016. – 404 с.

ВВЕДЕНИЕ

Недоедание людей начинается с голодания растений. Надо постоянно помнить, низкий урожай – это экономический ущерб себе, это экологический урон – разрушение почвы, это плохое качество растениеводческой продукции, вред здоровью сельскохозяйственных животных, в конечном счете, вред нашему здоровью.

И.Г. Юлушев

И, несмотря на то, что чернозем представляет довольно устойчивую природную систему, его современное агроэкологическое состояние вызывает большую тревогу. Интенсивная эксплуатация плодородия черноземов в течение трех веков без соответствующих компенсационных мер привела к их сильной антропогенной деградации.

А.П. Щербаков

Почва как биокосная оболочка Земли выполняет жизненно важные биогеоценотические функции, а ее высокое плодородие – основа существования цивилизаций на нашей планете. Всестороннее удовлетворение потребностей постоянно растущего населения мира требует активного баланса биогенных элементов в экосистемах, развития малого биологического круговорота веществ педосферы по спирали, что невозможно без воспроизводства плодородия почвы. Следовательно, интенсивное антропогенное воздействие на почвенный покров при ведении современного земледелия оказывает многостороннее воздействие на экосистемы; оптимизирует параметры физических, водно-физических, физико-химических и биологических свойств почвы, способствует не только сохранению, но и воспроизводству ее плодородия; изменяет структуру микробных сообществ в почве, усиливает активность в ней биологических процессов; оптимизирует факторы роста и развития культурных растений, что особенно важно в условиях возрастающего глобального и локального техногенного загрязнения окружающей среды; повышает устойчивость экологических функций почвы как сферы обитания живых организмов [7].

Результаты исследований научных учреждений и опыт внедрения в производство интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных растений в Российской Федерации и странах ближнего зарубежья в 80-90 гг. XX столетия убедительно показали, что дальнейшее повышение урожая культур невозможно без сохранения и воспроизводства плодородия почв. Как правильно подметил основатель агрономической химии Юстус Либих [6], чтобы сохранить плодородие почвы, необходимо вернуть ей все, что выносится из нее с урожаем. Сегодня не менее половины прироста растениеводческой продукции получают именно за счет внесения минеральных удобрений. Они являются материальной основой плодородия почв, богатства и могущества государств.

Научно-обоснованная система удобрения позволяет решать задачи: расширенного воспроизводства плодородия почвы, бездефицитного и положительного баланса гумуса и биогенных элементов в системе «почва–растение–удобрение», получения максимально возможного урожая сельскохозяйственных культур, сбалансированного по химическому составу и питательной ценности; повышения рентабельности сельскохозяйственного производства, сохранения и улучшения экологической обстановки в агроценозах.

Основоположник отечественной агрохимической научной школы Д.Н. Прянишников [8] при определении понятия «удобрение» отмечал, что «помимо повышения количества усвояемых питательных веществ в почве, внесение удобрений, особенно при их систематическом применении, способно оказывать влияние и на такие свойства почвы, как ее реакция, состав поглощенных катионов и вообще на физические, физико-химические и биологические свойства почвы, также определяющие ее плодородие». Минеральные удобрения при правильном их применении не могут быть фактором загрязнения окружающей среды. Негативное влияние удобрений на биосферу возможно лишь при неграмотном их использовании. Это, прежде всего, связано с несовершенством технологии транспортировки, хранения, смешивания и применения удобрений; нарушением агрономической технологии их внесения в севообороте и под отдельные культуры; эрозией почв; несовершенством химических, физических и механических свойств удобрений; интенсивным использованием промышленных, городских и бытовых отходов на удобрения.

На рубеже XX–XXI столетий стали появляться всевозможные конъюнктурные рецепты получения высоких урожаев по «беззатратным» и «малозатратным» технологиям. Это спекуляция на реальной злободневности проблемы, для решения которой предлагаются простые и дешевые (с точки зрения рекомендующих) способы и приемы [10]. Однако еще в начале XX в. Д.Н. Прянишников [8] писал: «...что касается авторов, которые, думают, что знают какой-то секрет получения высоких урожаев без внесения соответствующих количеств удобрений (и без знания агрохимии), то об этих авторах можно только сказать, что они напрасно считают себя материалистами».

Весь этот негативный всплеск на агрохимию был составной частью плана по развалу СССР и, в частности, его химической промышленности по производству минеральных туков. Началом послужил тезис «многоуважаемого» Президента СССР М.С. Горбачева: «Обогащайтесь!». Этот клич с большим энтузиазмом подхвачен был «политагротехнологами» типа Ю.Д. Черниченко и К°. Одновременно по команде сверху средства массовой информации начали формировать общественное мнение об однозначно негативном действии минеральных удобрений на окружающую среду, о серьезных экологических последствиях их применения в земледелии. На каком примитивном уровне оно делалось? На этот вопрос исчерпывающий ответ дает академик В.Г. Минеев [7]: «Существует ли альтернатива агрохимии в современном и будущем земледелии?» – задает он вопрос читателям и сам же отвечает: «Для специалистов и научных работников этой отрасли знаний – агрохимии – такая постановка вопроса покажется неправомерной и априори можно предвидеть отрицательный ответ. К сожалению, в последние годы ведется активная печатная и устная обработка общественного мнения, направленная против применения каких бы то ни было химических средств в сельском хозяйстве. Давно замечено, что легче критиковать неспециалисту, по известному принципу «со стороны виднее». Становится обычной такая картина. Корреспондент задает вопрос случайным прохожим на улице: «Вы за или против химии в сельском хозяйстве?» (а ответ, как правило, резко отрицательный с учетом сложной экологической обстановки) – и формируется «объективное» мнение. Вот на каком уровне идет поиск истины...». После такого «социологического исследования», как бы подводя итог дискуссии, «наш» Президент с удовлетворением заметил: «Процесс пошел».

Одновременно во многих научных и образовательных учреждениях агрохимия и агропочвоведение были отодвинуты на задний план, их позиции заняли ряд экологических дисциплин. В ряде учебников стали появляться конкретные призывы: «Минеральные удобрения причиняют колоссальный ущерб людям и окружающей среде», «Качество почв безвозвратно ухудшилось в результате применения минеральных удобрений».

Чтобы скрыть отсутствие экспериментальных подтверждений, авторы часто ссылаются на авторитеты, якобы предвидевших грядущую опасность от применения минеральных удобрений в сельском хозяйстве. Чаще всего ссылаются на профессора А.Г. Дояренко [2], который в письме «Об удобрениях», датированном 30 сентября 1930 г., писал: «Что касается искусственных туков, то они никоим образом не могут считаться удобрениями, т. к. ни в какой степени не улучшают почвы и не воздействуют на почву, а являются прямым «искусственным питанием растения» (все равно как благотворительная кормежка голодных не улучшает условий их существования)».

Можно поспорить и с уважаемым классиком, но нам кажется, в контексте сегодняшнего времени использовать его высказывания неуместно и мягко говоря, незачтливо. Еще большее недоумение вызывают публикации и высказывания отдельных ученых. В поисках «модных» терминов, не задумываясь о смысле, они, неправомерно отождествляя понятия «агрохимические средства» и «пестициды», зачастую употребляют термин «агрохимикаты», тем самым подмывая почву под самой агрохимической наукой. Вызывают удивление и призывы уменьшить рекомендуемые научными учреждениями дозы азотных удобрений т. к. они якобы являются единственным источником накопления нитратов в растениеводческой продукции. Встречаются и публикации, указывающие на минеральные удобрения как на основной источник накопления в почве тяжелых металлов и радиоактивных элементов без каких-либо на это экспериментальных подтверждений. Все это в обществе создает негативное мнение о минеральных удобрениях и не служит интересам нашего народа на современном этапе развития земледелия.

Последствия такого «ослепления» впечатляющие: во многих научных учреждениях были закрыты лаборатории агрохимии и агропочвоведения, аналогичная участь постигла и одноименные ка-

федры в учебных заведениях, а мощная химическая промышленность по производству минеральных туков была продана за бесценок, и оказалось в руках зарубежных фирм, которые сегодня на свой лад диктуют условия аграрному сектору нашей страны. Как следствие, из 22 млн. т минеральных удобрений, производимых в Российской Федерации, 19 млн. т вывозится за рубеж, и лишь 3 млн. т используется в стране [9].

«В зависимости от вкусов, ориентации заказчика, – пишет авторитетный ученый-агрохимик И.Г. Юлушев [10], – состояние сельскохозяйственного производства преподносится читателю то в розовых, то в темных тонах. Ясно одно, то, что было до перестройки, действительно нуждалось в совершенствовании, то, что имеем сейчас, также нуждается в определенной стратегической направленности. Нельзя все время жить и мыслить категориями ножек «Буша», пора иметь свою голову. Нужна идеология, пути и способы выживания, развития, расцвета».

«Я не отношусь ни к политической оппозиции, ни, тем более, к пятой колонне, разделяю политический курс Президента, – пишет с болью в сердце крупный отечественный ученый-почвовед академик В.И. Кирюшин [3], – но считаю ошибочной радикально-либеральную платформу правительства в аграрной сфере... За период с 1990 г. более чем на 41 млн. га сократились посевные площади, на 3,1 млн. га – площади орошаемых и осушаемых земель. На 24 млн. га увеличились площади сельскохозяйственных угодий с различными проявлениями водной эрозии, дефляции и других видов деградации почв. Площадь оврагов в настоящее время превышает 1 млн. га, а их ежегодный прирост увеличивается. На площади около 100 млн. га развиваются процессы опустынивания. За этот период из сельскохозяйственного оборота в другие категории земельного фонда переведено около 17 млн. га, кустарником и мелколесьем заросло более 3 млн. га пашни. Наряду с маргинальными землями из активного оборота выпало немало благополучных, которые находятся в различных стадиях бурьянистого перелога и залежей. Особую утрату представляют заброшенные мелиорированные земли, а также окультуренные пахотные почвы таежно-лесной зоны, которые возвращаются к своему исходному состоянию, обесценивая немалые усилия, ранее затраченные на их обла-

гораживание. Такие земли массово застраиваются вокруг безмерно разрастающихся мегаполисов. В запущенном состоянии находится большинство лесозащитных насаждений и сельскохозяйственных лесов. Большой ущерб земельным ресурсам страны наносит интенсивное хозяйствование с диспропорцией отраслей, неадекватной структурой угодий и посевных площадей, повсеместным нарушением севооборотов, нерациональной организацией территории. Именно экстенсивное истощительное земледелие с мизерным применением удобрений, ограничивающим применение почвозащитных агротехнологий, является главной причиной деградации почв и агроландшафтов». . . При этом за рубеж вывозятся удобрения, полученные из высококачественного сырья, особенно фосфорного (апатиты), запасы которого весьма ограничены».

Сегодня мы четко должны сказать тем, кто «позабыл или не знает», что агрохимия – это наука о минеральном питании растений, химических и биохимических процессах в почве и растениях, применении удобрений и других агрохимических средств воспроизводства и повышения плодородия почв, увеличения количества и качества урожая. И других, в т. ч. спекулятивных, мнений и высказываний здесь не должно быть.

Сегодняшний подход к агрохимии не позволяет реализовывать ее главную цель: создание наилучших условий питания растений с учетом знания свойств различных видов и форм удобрений, выявления особенностей их взаимодействия с почвой и определение наиболее эффективных форм, способов, сроков применения. А ведь только минеральное питание является одним из основных регулируемых факторов, используемых для целенаправленного управления ростом и развитием растений с целью создания высокого урожая хорошего качества, тогда как регулирование других факторов – влаги, света, и тепла в основном возможно только в закрытом грунте.

Современная концепция ведения сельскохозяйственного производства в подавляющем числе сельскохозяйственных предприятий нашей страны не базируется на научных, в частности на основных агрохимических, принципах. А отсюда – высокое варьирование урожайности и качества получаемой растениеводческой продукции из-за факторов риска, прежде всего «капризов погоды»; снижение уровня плодородия почв, так как в большей массе уро-

жай возделываемых культур получают за счет естественного плодородия почв. В основу же рационального землепользования должна быть положена новая стратегия интенсификации растениеводческой отрасли, базирующаяся на рациональном использовании удобрений и дифференцированном воздействии на систему «почва-растение», которое предусматривает: 1) получение высококачественных и безопасных продуктов питания и сырья для промышленности; 2) полная реализация генетического потенциала сортов возделываемых культур; 3) уменьшение зависимости продуктивности растений от погодных факторов; 4) исключение загрязнения окружающей среды при интенсивном использовании отходов промышленности в качестве удобрения.

Агрохимия и почвоведение являются фундаментальными науками, поскольку объединяющий объект исследований этих естественнонаучных направлений – почва – особое природное тело, являющееся основой для жизнедеятельности всего растительного и животного мира на Земле и связующим звеном между живой и неживой природой. Управление плодородием почв с целью достижения наивысших результатов в сфере производства продовольствия и сырья для промышленности всегда являлось актуальным и не утратит этой значимости в обозримом будущем. Растущее население Земли требует все большего количества продовольствия, и ограниченность земельных ресурсов заставляет искать пути рационального и более эффективного использования почвенного плодородия и управления им посредством агрохимических средств. Вместе с тем, стоит задача, чтобы их применение не влекло за собой ухудшения среды обитания человека и не вызывало негативных экологических последствий [4]. Как справедливо отмечал академик В.Ф. Ладонин [5], «...судьба агрохимии как науки, как теоретической основы химизации земледелия будет полностью зависеть от того, удастся вернуть ее к изучению теоретических проблем химизации, или же она все в большей степени будет продолжать опускаться до уровня прикладной науки, до уровня простого «учения об удобрении».

В заключение следует отметить, что в современном и обозримом будущем земледелии альтернативы агрохимии нет. Большой эффективности и экологической безопасности агрохимических средств возможно добиться лишь при строгом соблюдении технологии их применения на основе достижений науки, создании и наличии долж-

ной материально-технической базы. Поэтому систематический рост производства растениеводческой продукции связан с увеличением применения удобрений в масштабах, обеспечивающих положительный баланс элементов питания, воспроизводство плодородия почвы. Отрицательный баланс биогенных элементов в системе «почва–растение» – основная причина, сдерживающая рост урожая.

Объективная эколого-агрохимическая, почвенно-экологическая и эколого-земледельческая оценка агроэкосистемы возможна лишь на основе накопления и обобщения научно-экспериментального материала на стационарных агрохимических опытах. «Баланс, установленный на основе длительных стационарных опытов, – писал академик В.Г. Минеев [7], – важное звено исследований для оценки всех статей прихода и расхода питательных веществ на уровне севооборота, хозяйства, зоны, области, республики. Поэтому вызывает серьезную тревогу недооценка стационарных агрохимических опытов за последние годы, а издержки новой формы финансирования отраслевой науки приводят в ряде случаев к их закрытию, что недопустимо. Длительный стационарный агрохимический опыт – государственное достояние. Такие опыты имеют важное значение не только для решения текущих вопросов химизации земледелия, выполнения глубоких теоретических исследований в области агрохимии, но и определения стратегии применения агрохимических средств в земледелии. Углубленное исследование круговорота и баланса биогенных элементов в таких опытах позволяет совершенствовать рекомендации по эффективному применению удобрений, более обоснованно определять потребность в них как в отдельных хозяйствах, так и в целом в области, республике или регионе, а также своевременно принимать меры по предотвращению потерь удобрений и загрязнения ими окружающей среды».

Настоящая работа подводит итоги изучения воздействия системы удобрения сельскохозяйственных культур за три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота на агрохимические и физико-химические характеристики чернозема выщелоченного Западного Предкавказья в условиях стационарного полевого опыта кафедры агрохимии Кубанского госагроуниверситета. Также при обобщении материала автор использовал опубликованные результаты исследований профессоров П.В. Носова, Е.В. Тонконоженко, М.И. Корсуновой, В.Н. Слюсарева, Л.М. Онищенко, доцентов

Ю.Г. Погорелова, В.П. Суетова и аспирантов А.Ю. Погорелова, Т.Н. Райковой, за что им благодарен.

Пользуясь случаем, хочу выразить искреннюю признательность своим учителям-почвоводам Юрию Ниловичу Багрову и Виктору Ивановичу Терпельцу. Они первыми познакомили меня с наукой о почве на втором курсе агрофака Кубанского сельскохозяйственного института. Несомненный лекторский талант, феноменальная память, глубокая интеллигентность и уважение к людям Юрия Ниловича и пунктуальность, исключительная работоспособность, удивительно притягательный педагогический дар Виктора Ивановича и по сегодняшний день не перестают восхищать меня, оставаясь примером для подражания.

Литература

1. Антропогенная эволюция черноземов / Под ред. А.П. Щербакова и И.И. Васнецова. – Воронеж: Воронеж. гос.ун-ет, 2000. – 412 с.
2. Дояренко А.Г. Факторы жизни растений / А.Г. Дояренко. – М.: Колос, 1966. – 280 с.
3. Кирюшин В.И. Последствия радикального экономического либерализма и задачи новой аграрной политики / В.И. Кирюшин // Инновации. 2015. № 1(195). С. 4-17.
4. Кудяров В.Н. Проблемы агрохимии и современное состояние химизации сельскохозяйственного производства в Российской Федерации / В.Н. Кудяров, В.М. Семенов // Агрохимия. 2014. № 10. С. 3-17.
5. Ладонин В.Ф. Определение агрохимии как науки, ее задачи и место среди других наук / В.Ф. Ладонин // Агрохимия. 1993. № 2. С. 7-10.
6. Либих Ю. Химия в приложении к земледелию и физиологии / Ю. Либих. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1936. – 408 с.
7. Минеев В.Г. Избранное / В.Г. Минеев. – М.: МГУ, 2005. – 601 с.
8. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. В 3-х томах / Д.Н. Прянишников. – М.: Колос, 1965. Т. 1. – 767 с., Т. 2 – 708 с., Т. 3. – 640 с.
9. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2015.-232 с.
10. Юлушев И.Г. Почвенно-агрохимические основы адаптивно-ландшафтной организации систем земледелия ВКЗП / И.Г. Юлушев. – М.: Академический проект, 2005. – 368 с.

1 ЧЕРНОЗЕМ – НАЦИОНАЛЬНОЕ БОГАТСТВО РОССИИ

Под черноземом понимают мощную, окрашенную в черный цвет, богатую перегноем, мелкозёмистую структурную почву с нейтральной реакцией, обладающую характерным, только ей присущим, строением, генетически связанную с подстилающей ее породой, расположенную в виде ясно очерченной зоны, связанной с определенными условиями, и характеризующую определенную флору.

В.Р. Вильямс

Кардинальные характеристики черноземов обуславливают сильно выраженные параметры их многофункциональности, высокую энергетику, возможность существования активной и разветвленной биоты. Следствием всего этого служит значительная и устойчивая биопродуктивность черноземов, их плодородие.

И.А. Крупеников

Площадь черноземов на земном шаре составляет около 240 млн. га. Они приурочены в основном к Евразии, Северной и Южной Америке. На территории Российской Федерации сосредоточена половина черноземов мира. Они встречаются в центральных областях страны, на Северном Кавказе, в Поволжье и Западной Сибири. В Южном федеральном округе черноземы составляют главный земельный ресурс сельскохозяйственного производства. Черноземы распространены во всех регионах округа, кроме Астраханской области. Главнейшие обладатели черноземного фонда – Краснодарский и Ставропольский края, Ростовская и Волгоградская области [3].

Впервые термин «чернозем» в научной литературе употребил М.В. Ломоносов. В трактате «О слоях земных» [15], рассматривая вопрос «о материальных качествах верхнего слоя, или земной наружности», он замечает: «Великую часть оныя занимает чернозем». Дав анализ особенностям почвообразования под разными типами растительности, ученый формулирует свой заключительный вывод: «И так, нет сомнения, что чернозем не первообразная и не

первозданная материя, но произошел от согнития животных и растущих тел со временем».

Вопросы происхождения чернозема получили развитие в трудах Ф.И. Рупрехта и В.В. Докучаева. В противовес геологическим концепциям и гипотезам болотного и морского происхождения черноземов Ф.И. Рупрехт [18] впервые обосновал их связь с развитием степной растительности. «Чернозем, – писал он, – не мог произойти из торфа, ила и других гниющих растительных веществ, перенесенных, подобно эрратическим валунам, из Северной России на юг и там отложившихся. Равным образом чернозем нельзя считать за продукт разложения растений под водою, происходившего на том самом месте, потому что большая часть водных явноцветковых растений и водорослей, отличаясь нежностью, мягкостью и сочностью, сгнивает под водою массами и оставляет по себе только тонкий слой бурой грязи или массы, похожей в высушенном виде на камень, но никак не на торф или чернозем».

Формирование черноземов связано не только с травянистой степной растительностью, но и с климатическими условиями, придавшими этим почвам особую генетическую специфичность [6].

Краеугольным камнем докучаевской концепции чернозема является признание именно его растительно-наземного происхождения путем изменения материнских горных пород под воздействием климата и степной растительности.

Черноземы – тип почв, образующихся под степной и лесостепной травянистой растительностью суббореального пояса. Они образуются в основном на карбонатных материнских породах – лессах, лессовидных глинах и суглинках, иногда на более древних известняках, песчаниках, мергелистых глинах в условиях непромывного или периодически промывного водного режима.

«Наш чернозем, – писал В.В. Докучаев [9], – образовался из степной растительности, и притом как из наземных, так и подземных частей. Но для образования чернозема еще недостаточно, чтобы данная местность имела подходящий грунт и подходящую растительность: типичный лесс и не менее типичная степная флора имеется и во многих других местностях Западной Европы и других стран, однако чернозема мы не встречаем там. Причина заключается в том, что там нет известного отношения между ежегодным приростом и горением дикой растительности. Только при этом

условии, только при соединении этого условия с известным характером растительности, грунта и рельефа местности, и могла появиться на свет божий та благодатная почва, которая составляет коренное ни с чем несравнимое богатство России».

Ведущим процессом почвообразования при формировании черноземов является гумусово-аккумулятивный процесс, обуславливающий развитие мощного гумусово-аккумулятивного горизонта и оструктуривание профиля. Биологический круговорот веществ при черноземообразовании характеризуется ежегодным поступлением в почву больших количеств элементов питания растений с опадом [5].

Чернозем всегда был символом величия и мощи Российского государства, его главным «кормильцем». Он сыграл огромную роль в становлении и развитии многих фундаментальных естественнонаучных дисциплин. «Чернозем в истории почвоведения, – писал В.И. Вернадский [4], – сыграл такую же роль, какую имела лягушка в истории физиологии, кальцит в кристаллографии, бензол в органической химии».

В.В. Докучаев [10] свою пятую лекцию по почвоведению на организованных Полтавским губернским земством публичных чтениях начал словами «Затрудняюсь назвать предмет нашей беседы – так он хорош. Я буду беседовать с вами о царе почв, о главном основном богатстве России, стоящем неизмеримо выше богатств Урала, Кавказа, богатств Сибири, – все это ничто в сравнении с ним; нет тех цифр, какими можно было бы оценить силу и мощь царя почв, нашего русского чернозема. Он был, есть и будет кормильцем России».

Известный российский агрохимик Р. Германн [7] еще до рождения В.В. Докучаева писал: «В России чернозем – предмет весьма важный, он для нее то же, что каменный уголь для Англии, т. е. служит главным основанием народной деятельности и вместе с тем содействует отличному изобилию земных произведений».

Уникальность чернозема как природного образования обусловлена необычайностью его гумусового горизонта. Интенсивная, почти черная окраска, огромная мощность, большие запасы органического вещества, своеобразие его профильного распределения, придают данному типу особое положение среди почв и до сих пор привлекают внимание естествоиспытателей [19].

Профиль черноземов четко дифференцирован на генетические горизонты: А – гумусовый или гумусово-аккумулятивный, темно-окрашенный, мощный, богатый гумусом, зернистой или зернисто-

комковатой структуры; **B₁** – гумусовый переходный, темно-серый с коричневым оттенком, который книзу усиливается; **B₂** – горизонт гумусовых затеков, имеющийся не во всех типах черноземов, после которого залегает горизонт максимального скопления карбонатов; **B_к** – иллювиально-карбонатный, постепенно переходящий в материнскую породу **C**, в которой на определенной глубине могут обособляться гипсовый горизонт и горизонт с легко растворимыми солями.

Черноземы характеризуются биогенным накоплением органического вещества в гумусово-аккумулятивном горизонте, высоким содержанием в нем гумуса (до 15 %) фульватно-гуматного состава, хорошо выраженной комковатой, зернистой или комковато-зернистой структурой; насыщенностью поглощающего комплекса основаниями; высокой емкостью поглощения, нитрификационной способностью, порозностью, водопроницаемостью и влагоемкостью; реакцией, близкой к нейтральной и высокой буферностью; значительным потенциальным плодородием; относительной однородностью валового состава минеральной части по профилю, иллювиальным характером распределения карбонатов, выщелоченностью от легкорастворимых солей. Они имеют благоприятные физические, водно-воздушные и физико-химические свойства, что обусловлено наличием глубокого структурного гумусового горизонта. Плотность твердой фазы черноземов в верхних слоях невысокая – 2,4-2,5 г/см³.

По гранулометрическому составу черноземы самые разнообразные, но преобладают суглинистые и глинистые разновидности. По толщине гумусового слоя они делятся на сверхмощные (более 120 см), мощные (120-80 см), среднемощные (80-40 см), маломощные (40-25 см) и очень маломощные (менее 25 см); по содержанию гумуса – на высокогумусные, или тучные (более 9 %), среднегумусные (9-6 %), малогумусные (6-4 %) и слабогумусные (менее 4 %). По генезису эти почвы разделяют на следующие подтипы: оподзоленные, выщелоченные, типичные, обыкновенные и южные [16].

«Черноземы, – писал С.А. Захаров [12], – особенно западно-предкавказские, по своим физическим свойствам по богатству питательными веществами представляют весьма ценный и благоприятный субстрат почти для всех сельскохозяйственных культур. Может быть, это лучшие почвы мира. Но и они требуют улучшения своей структуры, несколько распыленного пахотного слоя, пополнения запасов удобоусвояемого фосфора, а местами азота, особенно выщелоченные разновидности их».

Черноземы выщелоченные – подтип почв, широко распространенный и свойственный луговым разнотравным злаковым степям лесостепной зоны и более увлажненным частям зоны настоящих степей. Основным отличительным признаком чернозема выщелоченного является вымытость карбонатов (выщелоченность) из гумусового горизонта и наличие между нижней его границей и линией вскипания от карбонатов свободного (выщелоченного) слоя: если его мощность меньше 20 см – слабо-, 20–40 – средне- и более 40 см – сильновыщелоченный чернозем. В почвенном профиле чернозема выщелоченного улавливаются черты элювиально-иллювиальной дифференциации: слабое перераспределение R_2O_3 и ила, уплотненность и развитие крупноореховатой либо призматично-комковатой структуры при среднем или тяжелом гранулометрическом составе. В окраске бескарбонатной части переходного горизонта в отличие от материнской породы имеется, как правило, больше красноватых и бурых тонов. Горизонт **A** темно-серой или черной окраски, с выраженной зернистой или зернисто-комковатой структурой, рыхлого сложения. Мощность его колеблется от 30–35 до 40–50 см. Нижняя граница горизонта **B₁** залегает на глубине 60–80 см. Горизонт **B₁**, выщелоченный от карбонатов, имеет ясно выраженную буроватую окраску, гумусовые затеки и примазки, ореховато-призматическую или призматическую структуру. Переход в горизонт **BC** или **C** обычно отчетливый, и граница выделяется по скоплению известковой плесени, прожилок [16].

Характерным представителем чернозема выщелоченного может служить разрез, заложенный на территории Краснодарского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. П.П. Лукьяненко [2]:

A_n, 0–30 см – темно-серый, влажный, глинистый, глыбисто-порошисто-комковатый.

A, 30–90 см – темно-серый, влажный, глинистый, ореховато-комковатый, плотноватый; по граням структурных отдельностей ясно выраженная глянцеватость, общий облик горизонта производит впечатление слитости; изредка встречаются железисто-марганцевые новообразования; переход постепенный по цвету и сложению.

AB₁, 90–155 см – серый с буроватым оттенком, светлеющий с глубиной, влажный, глинистый, крупнокомковато-ореховатый, несколько уплотненный; наблюдаются глинистые кутаны по грани структурных агрегатов; редкие точечные вкрапления черных

оксидов марганца и железа; встречаются червороины и капролиты; переход заметный.

В₂, 155–180 см – буроватый с серым оттенком, влажный, глинистый, практически бесструктурный, плотноватый; много червороин, капролиты, марганцево-железистые точечные и дробовидные конкреции, кутаны; переход постепенный.

ВС, 180–220 см – желтовато-бурый, со 190 см локальное вскипание от HCl, глинистый, влажный, содержит больше марганцево-железистых новообразований, чем предыдущий горизонт; много глянцевых кутан, по ходам червей корни; переход постепенный.

С_{са}, 230–320 см и более – желто-бурая с оливковым оттенком лессовидная глина; равномерно вскипает от HCl; карбонатные новообразования в форме журавчиков разной величины (до 2 см в диаметре) и прожилок; марганцево-железистые дробовидно-просяные конкреции, часто мелкие и режутся ножом; встречаются редкие кротовины и четко гумусированные червороины.

Черноземы являются единственной почвой, в которой органическая и минеральная части находятся в оптимальном сочетании. При исследовании черноземов легче всего выявить и наглядно продемонстрировать роль и важнейшие функции почвы в биосфере и антропосфере. И, несмотря на то, что чернозем представляет довольно устойчивую природную систему, его современное агроэкологическое состояние вызывает определенные опасения. Интенсивная эксплуатация плодородия черноземов в течение последних трех веков без соответствующих компенсационных мер привела к их некоторой антропогенной деградации [1].

П.А. Костычев [13] указывал: «Чернозем, вследствие многих особенностей, резко отличающих его от других почв, вероятно, еще долгое время будет составлять предмет внимательного и все более детального изучения». Действительно, исследование этих почв, их генезиса и плодородия имеет и в наши дни большую научную и практическую актуальность.

В.В. Докучаев свой знаменитый труд «Русский чернозем» [8] начинает словами Вангенгейма фон Квалена: «Человеческой жизни едва хватило бы, чтобы основательно обследовать и описать все литологическое многообразие и все переходы чернозема и родственных ему почв, при всей бесконечности занимаемого им пространства, все их местные особенности, различное плодородие,

подпочвы, отложения...» и заканчивает его же словами: «При исследовании чернозема нам представляется бесконечно большое поле деятельности; но эта тема в высшей степени важна и для науки и, в особенности, для практической жизни. Поэтому каждый научный работник, каждый мыслящий практик – сельский хозяин, живущий в местностях с этой знаменитой «черной землей» или имеющий там земельную собственность, обязан внести свой вклад...». Эту задачу В.В. Докучаев выполнил блестяще. Он раскрыл природу чернозема и его плодородной силы. На основании многолетних исследований и глубокого осмысления литературных данных ученый пришел к заключению, что «чернозем для России дороже всякой нефти, всякого каменного угля, дороже золотых и железных руд, в нем вековечное неистощимое русское богатство», но, вместе с тем, предупреждал, что этим богатством следует пользоваться разумно, зная законы его формирования, соблюдать их в практической работе и в этом направлении строить все свои исследования и все последующие работы [17].

В.В. Докучаев и Н.М. Сибирцев [11] в отчете Министерству земледелия и государственных имуществ отмечали: «Если желают поставить русское сельское хозяйство на твердые ноги, на торный путь и лишить его характера азартной биржевой игры, если желают, чтобы оно было приноровано к местным физико-географическим (равно как историческим и экономическим) условиям страны и на них бы зиждилось (а без этого оно навсегда останется биржевой игрой, хотя бы годами и очень выгодной), безусловно, необходимо, чтобы эти условия – все естественные факторы (почва, климат с водой и организмы) были бы исследованы и испытаны, по возможности всесторонне и непременно во взаимной их связи». Эти гениальные слова основоположников науки о почве служат отправной точкой для любого исследователя и по настоящий день.

Литература

1. Антропогенная эволюция черноземов / Под ред. А.П. Щербакова и И.И. Васнева. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2000. – 412 с.
2. Блажний Е.С. Черноземы Западного Предкавказья / Е.С. Блажний, Ф.Я. Гаврилюк, В.Ф. Вальков, Н.Е. Редькин / Черноземы СССР (Предкавказье и Кавказ). – М.: Агропромиздат, 1985. С. 5-58.
3. Вальков В.Ф. Почвы юга России / В.Ф. Вальков, Т.Ш. Казеев, С.И. Колесников. – Ростов-на-Дону: Изд-во Эверест, 2008. – 276 с.

4. Вернадский В.И. Очерки и речи. Т. 2 / В.И. Вернадский. – Петроград: Науч. хим. тех. изд-во, 1922. – 123 с.
5. Вильямс В.Р. Морфологические признаки чернозема / В.Р. Вильямс. Собрание сочинений. Т. 5. М.: Госсельхозиздат, 1950. С. 547-565.
6. Волобуев В.Р. Почвы и климат / В.Р. Волобуев. – Баку: Изд-во АН АзССР, 1953. – 320 с.
7. Германн Р. Химические исследования о черноземе, находящемся в южных губерниях России / Р. Германн // Земледельческий журнал Московского общества сельского хозяйства. 1837. № 1 / История агрикультуры. Вып. 3. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 132-140.
8. Докучаев В.В. Русский чернозем. – СПб, 1883 / В.В. Докучаев. Избранные сочинения. Т. 1. М.: Госсельхозиздат, 1948. – 408 с.
9. Докучаев В.В. Русский чернозем /Новь. 1885. №18. С. 94-215. В.В. Докучаев. Избранные труды. – М.: Изд-во АН СССР, 1949. С. 249-316.
10. Докучаев В.В. Лекции по почвоведению / Лекции профессоров В.В. Докучаева и А.Ф. Фортунатова. Экономическое бюро Полтавского губернского земства. – Полтава, 1901 / В.В. Докучаев. Избранные сочинения. Т. 3. М.: Госсельхозиздат, 1949. С. 339-374.
11. Докучаев В.В. Отчет Министерству земледелия и государственных имуществ. Введение / В.В. Докучаев, Н.М. Сибирцев / Н.М. Сибирцев. Избранные сочинения. Т. 2. М.: Сельхозиздат, 1953. С. 425-455.
12. Захаров С.А. Почвы Предкавказья / С.А. Захаров // Почвы СССР. Т. 3. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1939. С. 297-355.
13. Костычев П.А. Почвы черноземной области России, их происхождение, состав и свойства. – СПб. 1886 / П.А. Костычев. Избранные труды. – М.: Изд-во АН СССР, 1951. С. 1-404.
14. Крупеников И.А. Антропогенный процесс – угроза гибели чернозема, как почвенного типа / И.А. Крупеников / Антропогенная эволюция черноземов. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2000. С. 303-313.
15. Ломоносов М.В. О слоях земных. СПб., 1763 / М.В. Ломоносов. Избранные произведения. Т. 1. -М.: Наука, 1986. С. 361-434.
16. Наумов В.Д. География почв: толковый словарь / В.Д. Наумов – М.: ИНФРА-М, 2014. – 376 с.
17. Паников В.Д. Заключение / В.Д. Паников / Плодородие черноземов России. – М.: Агроконсалт, 1998. С. 656-666.
18. Рупрехт Ф.И. Геоботанические исследования о черноземе / Ф.И. Рупрехт. – СПб, 1866. -132 с.
19. Щеглов Д.И. Гумусовый профиль черноземов: процесс формирования и направление эволюции / Д.И. Щеглов // Антропогенная эволюция черноземов. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2000. С. 71-100.

2 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Прежде всего, про четыре
узней мироздания начало: Воздух,
огонь, жизнетворную почву и вла-
гу, Чьею струею родник бытия
создается для смертных.*

Эмпедокл

*Для того чтобы понимать и
чувствовать природу, недоста-
точно ее видеть, необходимо
знать науку о ней.*

А.П. Платонов

Стационарный полевой опыт кафедры агрохимии Кубанского госагроуниверситета по изучению эколого-агрохимических функций удобрений при их длительном применении на полях 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота находится в учебном хозяйстве «Кубань», расположенном в Центральной агроклиматической зоне Краснодарского края.

Климат Центральной агроклиматической зоны – умеренно-континентальный. Характерными его чертами являются преобладание воздушных масс континентального происхождения, довольно значительные амплитуды температур, жаркое сухое лето, малоснежная зима с частыми оттепелями. Среднегодовая температура воздуха составляет 10,0-10,8°C, среднегодовое количество осадков – 425-645 мм, коэффициент увлажнения (отношение суммы осадков за год к сумме дефицита влажности за этот же период) – 0,3-0,4, безморозный период – 180-210 дней, сумма эффективных температур – 3450-3655°C, продолжительность солнечного сияния в году – 2200-2400 ч, количество суммарной солнечной радиации – 115-120 ккал/см². Среди опасных метеорологических явлений имеют место заморозки, засухи, суховеи, сильные ветры, пыльные бури, обильные осадки, град, туман и гололед. Среднее за год число дней с заморозками колеблется в пределах 30–40, ущерб от заморозков вызван тем, что они совпадают либо с начавшейся, либо с последней фазой заканчивающейся вегетации сельскохозяйственных культур, число дней в году с суховеями составляет 70-90 [6,13].

Рельеф. Прикубанская равнина, местами низменная, местами повышенная, протянулась от Кумо-Манычской впадины до Кавказ-

ских гор. Высота над уровнем моря в разных частях равнины в дельте Кубани составляет 1–2 м, у Славянска-на-Кубани – 12 м, Ейска – 20 м, Краснодара – 34–35 м, Тихорецка – 88 м, Кропоткина – 128 м, к югу от Лабинска – 300 м, к западу от Отрадной – 800–900 м (Джелтмесские высоты). Вся равнина имеет основной уклон на северо-запад, к Азовскому морю. Однако на северной ее окраине имеется уклон непосредственно к северу, куда течет приток Кагальника река Ельбузд, а в районе Белой Глины – на восток, куда течет река Калалы, впадающая в Егорлык. Большая часть Прикубанской равнины лежит ниже 200 м над уровнем моря, но ее юго-восточная часть, на левобережье реки Кубани, постепенно и незаметно превращается в повышенную равнину, т. е. на высоте более 200 м над уровнем моря. По геоморфологическому районированию равнинной и предгорно-степной части Краснодарского края территория опытного поля входит в Кубанский дельтово-пойменный район Прикубанской равнины. Земельный участок расположен на правом берегу реки Кубань, на второй надпойменной террасе; рельеф – равнина [1,2,3,6].

Растительность. Растительный покров необычайно разнообразен. Он тесно связан со своеобразием географических, геологических, гидрологических и климатических условий. Рельеф и время также наложили свой отпечаток на формирование растительного покрова. В прошлом на всей территории Прикубанской равнины, в том числе в районе расположения опытного поля, произрастала разнотравно-злаковая растительность, характеризующаяся наличием в составе большого количества представителей лугово-степного разнотравья. Это послужило одним из факторов образования здесь черноземов.

Гидрология. Основным источником увлажнения почв на опытном участке являются атмосферные осадки. Грунтовые воды залегают глубоко и не влияют на почвообразование, в западинах происходит скопление атмосферных осадков. Здесь они способствуют вымыванию карбонатов и ила в глубоколежащие слои почвы, развитию гидроморфных процессов, что и послужило одним из факторов формирования чернозема выщелоченного [1,2,3].

Почвообразующие породы на территории опытного участка представлены лессовидными отложениями четвертичного периода, которые характеризуются буровато-палевой окраской, рыхлым или слабоуплотненным сложением, значительной пористостью и пере-

рытостью кротами, высокой карбонатностью и отсутствием засоления. Содержание физической глины в лессовидных тяжелых суглинках 56,8-59,1 % преобладают в них иловато-пылеватые фракции. Породы содержат большое количество крупнопылеватых частиц, придающих им благоприятные водно-физические свойства, хорошую водо- и воздухопроницаемость. Важным диагностическим показателем является отсутствие или ничтожное и сравнительно низкое содержание фракции крупнее 0,25 мм. Это свидетельствует об эоловом накоплении материала и слабом перемещении последнего во влажные периоды года. Среднегодовая величина накопления этих пород не превышает 0,5 мм [2]. Общим для лессовидных отложений является преобладание в крупных фракциях полевых шпатов, главным образом плагиоклазов и слюд, в некоторых – обедненность кварцем. Высокодисперсная часть представлена гидрослюдами и минералами монтмориллонитовой группы [4]. Валовой химический состав этих пород довольно однообразный. Все они содержат значительное количество калия – 1,9-2,0 %, фосфора – 0,18-0,26 % и серы 0,63-1,28 %. Физические свойства лессовидных пород имеют следующие показатели: плотность – 1,3-1,5 г/см³, плотность твердой фазы – 2,6-2,8 г/см³, порозность – 42-52% [2]. Верхние слои лессовидных отложений либо лишены карбонатов, либо содержат их в количестве от 7,7 до 11,1 %; реакция среды находится в пределах от нейтральной до среднещелочной – рН=6,5-8,2.

В составе лессовидных отложений есть легкорастворимые соли (NaCl, Na₂SO₄, Na₂CO₃, NaHCO₃). Содержание SO₄²⁻ колеблется в пределах 0-750 мг/100 г, HCO₃⁻, Cl⁻ – 0-450 мг/100 г породы. Они обладают сравнительно невысокой емкостью катионного обмена – 10-20 мг-экв/100 г породы. Чаще всего обменные катионы представлены кальцием и магнием в соотношении 3:1, присутствуют также незначительные количества обменных катионов калия и натрия. Лессовидные отложения, как правило, обладают высокой порозностью – 44-48 %; плотность – 1,20-1,70 г/см³, плотной твердой фазы 2,54-2,84 г/см³[5,12].

Почва. Умеренно-континентальный климат, равнинный с западинами рельеф, однообразие почвообразующих пород, произраставшая в прошлом степная и лугово-степная растительность определили направление почвообразовательного процесса, проявившегося в формировании почв черноземного типа. Продолжительная теплая

осень, мягкая и малоснежная зима со слабым промерзанием почвы, глубокое осенне-зимнее промачивание почвенного профиля чередуется здесь с периодом значительного иссушения пахотного слоя почвы в весенне-летнее время. Наличие этих условий исключает быструю минерализацию органических остатков биоценоза и способствует накоплению в почве гумуса с равномерным прокрашиванием его профиля на значительную глубину. Густая корневая система разнотравно-злаковой травянистой растительности, господствовавшей здесь до распашки, обеспечивала не только накопление гумуса с очень постепенным падением его с глубиной, но и создание хорошей зернистой структуры. Отличительной особенностью кубанских черноземов является, прежде всего, большая мощность гумусового горизонта при сравнительно невысоком содержании гумуса. Основными подтипами являются: черноземы обыкновенные, черноземы типичные, черноземы выщелоченные, черноземы южные.

Черноземы выщелоченные занимают самую южную часть правобережья реки Кубани; в левобережье – они находятся преимущественно в междуречье Лабы и Белой и на водоразделе верхнего течения рек Уруп и Лаба. Эти почвы имеют большую мощность гумусового горизонта, что обусловлено обильной растительностью, продукты гумификации которой, в условиях более мягкого климата, еще глубже проникают в почвенный профиль. Плодородие черноземов выщелоченных обусловлено климатическими условиями, а не количеством гумуса.

Профиль чернозема выщелоченного хорошо дифференцирован на почвенно-генетические горизонты постепенно сменяющих друг друга: $A_{\text{пах}}-A-AB_1-AB_2-B-C$. Для профиля свойственна однородная темно-серая окраска с буроватым оттенком, начинающаяся с горизонта AB_1 . Чернозем выщелоченный при достаточно небольшом содержании органических веществ имеет сверхмощную толщу гумусового слоя ($A+AB=148$ см). Профиль почвы промыт от карбонатов кальция вплоть до горизонта C и имеет средне уплотненное сложение. Плотность почвы верхних горизонтов составляет $1,30-1,35$ г/см³ и увеличивается до $1,39-1,47$ г/см³ в более нижних её слоях. Подробное морфологическое описание чернозема выщелоченного приведено ниже (рисунок 1; [14]):

$A_{\text{пах}}$ (0-25/25 см) – свежий, темно-серый, глинистый, комковато-зернистый, уплотненный, червороины, корневые остатки, переход постепенный.

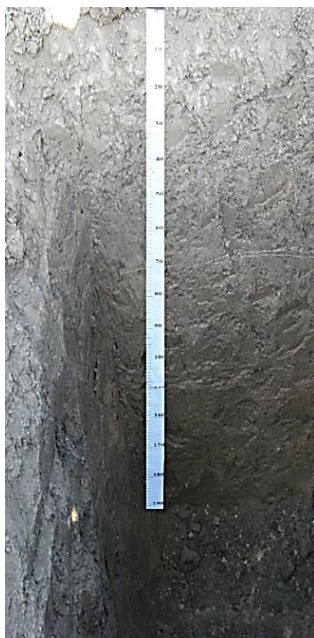


Рисунок 1 – Профиль чернозема выщелоченного

А (25-62/37 см) – свежий, темно-серый, глинистый, комковатый, уплотненный, червороины, корневые остатки, переход постепенный.

АВ₁ (62-109/47 см) – свежий, темно-серый с буроватым оттенком, глинистый, комковатый, средне уплотненный, червороины, корневые остатки, переход постепенный.

АВ₂ (109-148/39 см) – свежий, темно-серый с бурым оттенком, глинистый, комковатый, средне уплотненный, червороины, местами отдельные корни, переход постепенный.

В (148-177/29 см) – свежий, бурый с темными затеками гумуса, тяжелосуглинистый, структура почвы слабо выражена, средне уплотненный, от 10 %-ной HCl не вскипает, переход постепенный.

С (более 177 см) – свежий, бурый с желтоватым оттенком, тяжелосуглинистый, средне уплотненный, бесструктурный, карбонаты в виде белоглазки, вскипает от 10 %-ной HCl с 180 см.

В гранулометрическом составе чернозема выщелоченного фракция физической глины (< 0,01 мм) в пахотном горизонте составляет 61,2%. В составе фракций преобладают частицы пыли (57,1%) и ила (38,4%). По соотношению сумм фракций чернозем выщелоченный относится к иловато-пылевой легкой глинистой разновидности (таблица 1).

В пределах почвенного профиля гранулометрический состав не однороден. В нижней части профиля, начиная с горизонта АВ₂ вплоть до почвообразующей породы, легкогоглинистый гранулометрический состав сменяется тяжелосуглинистым. Это происходит в результате уменьшения фракций ила и увеличения пылеватых и песчаных частиц. Гранулометрический состав почвы во многом определяет её физические и водно-физические свойства.

Чернозем выщелоченный обладает благоприятными для роста и развития растений физическими свойствами (таблица 2).

48 Таблица 1 – Гранулометрический состав чернозема выщелоченного

Горизонт Т	Глубина горизонт а, см	Содержание фракций в % от абсолютно сухой почвы (размер частиц в мм)						Сумма фракций		
		1,0- 0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	< 0,0 01	< 0,01	0,05- 0,001	1,0- 0,05
A _{пах}	0-25	–	4,5	34,3	10,8	12,0	38,4	61,2	57,1	4,5
A	26-62	–	4,6	34,4	10,5	12,4	38,1	61,0	53,3	4,6
AB ₁	63-109	0,1	4,6	34,6	9,7	13,1	37,9	60,7	57,4	4,7
AB ₂	110-148	0,1	4,7	36,2	8,4	13,6	37,0	59,0	58,2	4,8
B	149-177	0,3	5,3	36,9	8,5	14,8	34,2	57,5	60,2	5,6
C	> 177	0,4	6,0	36,2	8,8	15,3	33,3	57,4	60,3	6,4

Таблица 2 – Физические свойства чернозема выщелоченного

Горизонт	Глубина горизонта, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твёрдой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Пористость аэрации, %
A _{пах}	0-25	1,30	2,67	51,9	27,8
A	26-62	1,35	2,70	50,0	25,3
AB ₁	63-109	1,39	2,72	48,9	23,4
AB ₂	110-148	1,45	2,73	46,8	20,3
B	149-177	1,47	2,74	46,3	20,2
C	> 177	1,47	2,74	46,3	20,0

Плотность почвы пахотного горизонта составляет $1,30 \text{ г/см}^3$ и увеличивается с глубиной до $1,45\text{-}1,47 \text{ г/см}^3$. Наименьшая плотность твердой фазы характерна для пахотного горизонта ($2,67 \text{ г/см}^3$), обогащенного гумусом и полуразложившимися растительными остатками. Вниз по почвенному профилю плотность твердой фазы постепенно увеличивается до $2,74 \text{ г/см}^3$. Почва характеризуется высокой общей пористостью, колеблющейся от 51,9 в горизонте $A_{\text{пах}}$ до 46,3 % в почвообразующей породе. Достаточно высока и пористость аэрации (воздухообеспеченность), варьирующая в пределах профиля от 27,2 до 20,0 %. Такие показатели свидетельствуют о хорошей оструктуренности чернозема выщелоченного. Эти изменения коррелируют с содержанием гумуса в различных горизонтах почвы.

Чернозем выщелоченный в пахотном слое имеет достаточно высокую полную (34,0 %) и наименьшую (29,8 %) влагоемкости, максимальная гигроскопичность невысокая – 9,49 %, влажность устойчивого завядания растений также сравнительно небольшая – 14,2 %, диапазон активной влаги равен 15,6 % (таблица 3).

Таблица 3 – Водно-физические свойства чернозема выщелоченного, %

Горизонт	Глубина горизонт а, см	МГ	ПВ	ВЗ	НВ	ДАВ
$A_{\text{пах}}$	0-25	9,49	34,0	14,2	29,8	15,6
A	26-62	8,85	31,4	13,3	27,0	13,7
AB_1	63-109	8,73	29,4	13,1	26,4	13,3
AB_2	110-148	8,66	26,6	13,0	25,9	12,9
B	149-177	8,60	26,1	12,9	25,6	12,7
C	> 177	8,51	26,1	12,8	23,8	11,0

Примечание: МГ – максимальная гигроскопичность; ПВ – полная влагоемкость, ВЗ – влажность завядания, НВ – наименьшая влагоемкость, ДАВ – диапазон активной влаги

Анализ водно-физических свойств чернозема показал характерную для почв черноземного ряда дифференциацию по горизонтам. Наиболее благоприятными для роста и развития растений водно-физическими свойствами характеризуется пахотный горизонт. С глубиной профиля и увеличением плотности сложения почвы значения показателей, характеризующих её водно-физические свойства, заметно снижаются. Такой характер изменения их связан с уменьшением к низу содержания в почве гумуса.

Гранулометрический состав во многом определяет не только водно-физические, но и физико-химические свойства почвы. Наиболее заметно это проявляется в отношении почвенного поглощающего комплекса (ППК). Это подтверждается и полученными нами данными на черноземе выщелоченном (таблица 4).

Наибольшее содержание суммы поглощенных оснований отмечено в пахотном горизонте почвы. С глубиной почвенного профиля их количество заметно уменьшается, что связано, прежде всего, со снижением содержания гумуса и илистых частиц в составе гранулометрических фракций. В ППК преобладает катион кальция, количество которого почти в 3 раза превышает содержание обменного магния. Соотношение двухвалентных катионов $Ca^{2+}: Mg^{2+}$ изменяется в пределах профиля почвы от 2,7 в пахотном слое до 3,2 в горизонте С. Реакция среды пахотного горизонта слабокислая, которая с глубиной профиля переходит в нейтральную и достигает в почвообразующей породе щелочных значений.

Чернозем выщелоченный слабогумусный: в горизонте $A_{пах}$ гумуса содержится 3,2 %. В тоже время гумус, при постепенном уменьшении вниз по профилю, проникает на значительную глубину почвы. В иллювиальном горизонте В его содержание составляет 0,7 %. При этом гумусовые затеки обнаруживаются и в почвообразующей породе. Расчет валового запаса гумуса чернозема выщелоченного показал, что в системе горизонтов А+В его содержится 468,2 т/га, в 2-х метровом слое почвы – 481,7 т/га.

Все компоненты почв обладают определенной магнитной активностью, одной из характеристик которой является магнитная восприимчивость (χ), отражающая образование сильномагнитных минералов железа в хорошо оструктуренной и аэрированной почве и может служить дополнительным критерием, характеризующим водно-воздушные и структурные свойства почвы.

Магнитная восприимчивость верхних горизонтов автоморфных почв всегда выше магнитной восприимчивости материнских пород, а в гидроморфных почвах чаще наоборот. При этом гидроморфные почвы обладают значительно меньшей магнитной восприимчивостью, чем автоморфные почвы.

Таблица 4 – Физико-химические свойства и запас гумуса в черноземе выщелоченном

Горизонт	Глубина горизонта, см	pH _{водн.} , ед.	Поглощенные катионы, мг.-экв./100 г почвы			Гумус, %	Запас гумуса, т/га		
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	сумма		по горизонтам	в слое А+В	в слое 0-200 см
A _{пах}	0-25	6,5	31,2	11,6	42,8	3,2	104,0	468,2	481,7
A	26-62	6,6	31,0	11,7	42,7	2,7	131,2		
AB ₁	63-109	6,7	31,4	10,9	42,3	1,9	121,5		
AB ₂	110-148	7,0	31,3	10,3	41,6	1,5	82,7		
B	149-177	7,7	26,2	9,0	35,2	0,7	28,8		
C	> 177	8,0	23,5	7,4	30,9	0,4	13,5		

Чернозем выщелоченный обладает достаточно высокой магнитной восприимчивостью, колеблющейся в пределах от 1,045 до $0,797 \times 10^{-3}$ ед. СИ. Почва имеет аккумулятивный характер магнитного профиля: с глубиной значения магнитной восприимчивости постепенно уменьшаются. В верхнем аэрируемом слое формируются сильномагнитные минералы железа, поэтому пахотный горизонт обладает наибольшей намагниченностью (рисунок 2; [14]).

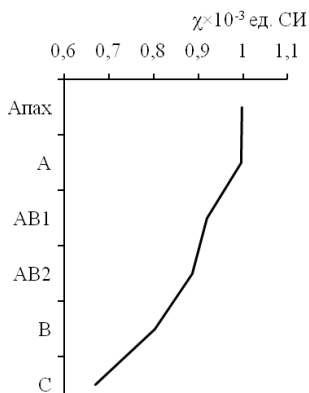


Рисунок 2 – Изменение магнитной восприимчивости (χ) по профилю чернозема выщелоченного

Таким образом, магнитная восприимчивость чернозема выщелоченного наибольшая в горизонте аккумуляции гумуса и характеризует процессы гумусообразования.

Валовой состав минеральной части почвы выражают в виде процентного содержания оксидов макро- и микроэлементов на прокаленную бескарбонатную навеску (таблица 5). Эти данные отражают характер преобразования почвообразующей породы и дифференциацию почвенного профиля по химическому составу в процессе почвообразования. Чернозем выщелоченный формируется под влиянием литосферы, атмосферы, гидросферы и живых организмов и, в той или иной степени, наследует их химический состав, в тоже время, приобретая их индивидуальные особенности.

Большая глинистость чернозема выщелоченного обуславливает образование в нем значительных количеств оксидов кремния, алюминия и железа (таблица 5). В пахотном слое почвы в убывающем порядке располагаются оксиды калия, магния, кальция, натрия, титана, фосфора, марганца и серы. Доля других химических элементов

Таблица 5 – Валовой химический состав чернозема выщелоченного, % на прокаленную и бескарбонатную почву

Горизонт	Глубина горизонта, см	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃
A _{пах}	0-25	64,67	18,10	6,90	2,73	2,10	2,41	1,38	0,80	0,22	0,10	0,11
A	26-62	64,68	18,06	7,03	2,71	2,22	2,42	1,42	0,76	0,20	0,10	0,10
AB ₁	63-109	64,70	18,01	7,11	2,69	2,30	2,44	1,46	0,70	0,19	0,09	0,08
AB ₂	110-148	64,72	17,68	7,26	2,63	2,54	2,50	1,51	0,60	0,18	0,09	0,07
B	149-177	64,75	17,30	7,32	2,60	2,77	2,53	1,60	0,56	0,17	0,08	0,05
C	> 177	64,78	17,25	7,38	2,50	2,81	2,54	1,63	0,52	0,15	0,06	0,04

элементов в прокаленной бескарбонатной почве не превышает 0,5 %. При продвижении вниз по профилю почвы содержание оксидов кремния, железа, кальция, магния и натрия увеличивается, а алюминия, калия, титана, фосфора, марганца и серы – уменьшается. Разное содержание химических элементов связано с различием в составе исходной почвообразующей породы, а также с трансформацией и миграцией в процессе почвообразования [11,14].

Эколого-агрохимические функции удобрений изучались в 11-польном полевом севообороте (таблица 6; [11]).

Таблица 6 – Схема чередования культур в севообороте и нормы минеральных удобрений

Поле	Культура	Норма минеральных удобрений
1	Люцерна	$N_{0-10-20-30}P_{0-10-20-30}K_{0-10-20-30}$
2	Люцерна	$N_0P_0K_0$
3	Озимая пшеница	$N_{0-40-80-120}P_{0-30-60-90}K_{0-20-40-60}$
4	Озимый ячмень	$N_{0-40-80-120}P_{0-30-60-90}K_{0-20-40-60}$
5	Подсолнечник	$N_{0-20-40-60}P_{0-30-60-90}K_{0-20-40-60}$
6	Озимая пшеница	$N_{0-40-80-120}P_{0-30-60-90}K_{0-20-40-60}$
7	Соя	$N_{0-20-40-60}P_{0-40-80-120}K_{0-20-40-60}$
8	Озимая пшеница	$N_{0-40-80-120}P_{0-30-60-90}K_{0-20-40-60}$
9	Сахарная свекла	$N_{0-40-80-120}P_{0-40-80-120}K_{0-40-80-120}$
10	Кукуруза на зерно	$N_{0-30-60-90}P_{0-30-60-90}K_{0-30-60-90}$
11	Люцерна + яровой ячмень	$N_0P_0K_0$

Опыт заложен в 1981 г. под руководством заведующего кафедрой агрохимии Кубанского госагроуниверситета профессора В.Т. Куркаева. В 2005 г. решением Всероссийского координационного совещания участников Географической сети опытов он включен в «Реестр длительных опытов с удобрениями Российской Федерации» (Аттестат № 078). Включает 16 вариантов и представляет собой выборку 1/4 часть полного факториального эксперимента $4 \times 4 \times 4$, образованную тремя факторами: азотом, фосфором и калием с использованием четырех норм: 0; 1; 2; 3. За единичную норму для люцерны принято $N_{10}P_{10}K_{10}$, подсолнечника – $N_{20}P_{30}K_{20}$, сои – $N_{20}P_{40}K_{20}$, кукурузы – $N_{30}P_{30}K_{30}$, пшеницы и ячменя – $N_{40}P_{30}K_{20}$, сахарной свеклы – $N_{40}P_{40}K_{40}$. Посевная площадь делянок 162 м^2 , учетная – 63 м^2 , размещение вариантов – рендомизированное [7].

Все аналитические работы выполнялись согласно общепринятым методикам. Статистическая оценка данных проведена методом дисперсионного анализа [8,9,10].

Выводы. Чернозем выщелоченный слабогумусный сверхмощный легкоглинистый на лессовидных тяжелых суглинках. Он хорошо дифференцирован на почвенно-генетические горизонты: $A_{\text{пах}}-A-AB_1-AB_2-B-C$. По гранулометрическому составу – пылевато-иловатая легкоглинистая. Для формирования высокопродуктивного биоценоза почва обладает благоприятными физическими (плотность сложения $1,30 \text{ г/см}^3$, плотность твердой фазы $2,6 \text{ г/см}^3$, общая пористость 51,9 %, пористость аэрации 27,8 %) и водно-физическими свойствами (ПВ=34,0 %, НВ=29,8%; МГ=9,49 %; ВЗ=14,2 %, ДАВ=15,6 %). Имеет достаточно большие запасы гумуса в толще А+В, равные 468,2 т/га; высокую сумму поглощенных оснований в горизонте $A_{\text{пах}}$ – 42,8 мг-экв./100 г с преобладанием в ППК катиона Ca^{2+} ; обладает довольно большой намагниченностью пахотного слоя $\chi=1,045 \times 10^{-3}$ ед. СИ, характеризуется высоким содержанием оксидов алюминия, железа и кремния.

Литература

1. Блажний Е.С. Почвы дельты реки Кубани и прилегающих пространств / Е.С. Блажний. – Краснодар: Краснодар. кн. из-во, 1971. – 276 с.
2. Вальков В.Ф. Почвы Краснодарского края, их использование и охрана / В.Ф. Вальков, Ю.А. Штомпель, И.Т. Трубилин, Н.С. Котляров, Г.М. Соляник. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 1996. – 192 с.
3. Кириченко К.С. Почвы Краснодарского края / К.С. Кириченко. – Краснодар: Крайгосиздат, 1953 – 240 с.
4. Кумахов В.И. Почвы Кабардино-Балкарской республики (генезис, классификация и оценка) / В.И. Кумахов. – Нальчик: Изд-во М: и В. Котляровых, 2015. – 244 с.
5. Самойлова Е.М. Почвообразующие породы / Е.М. Самойлова. М.: МГУ, 1983 – 173 с.
6. Шеуджен А.Х. Природно-ресурсный потенциал Северокавказского экономического региона Российской Федерации / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – 42 с.
7. Шеуджен А.Х. Влияние доз и сочетаний минеральных удобрений на урожай и качество сельскохозяйственных культур, возделываемых на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, А.И. Столяров, Л.П. Леплявченко, Л.И. Громова, В.П. Суетов, Л.М. Онищенко, В.В. Дроздова, Е.Е. Ерезенко // Тр. КубГАУ. 2008. Вып. 431(459). С. 160-184.

8. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 1. История и методология химии / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – 1278 с.
9. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 2. Методика агрохимических исследований / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 703 с.
10. Шеуджен А.Х. Методика агрохимических исследований и статистическая оценка их результатов / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2015. – 664 с.
11. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 3. Экспериментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 755 с.
12. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 4. Фундаментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 529 с.
13. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 5. Прикладная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2017. – 860 с.
14. Шеуджен А.Х. Физические, водно-физические и физико-химические показатели чернозема выщелоченного / А.Х. Шеуджен, О.А. Гуторова, Х.Д. Хурум, И.А. Лебедовский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 4(58). Ч. 1. С. 166-171.

3 АГРОБИОХИМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Классификация (лат.: classis – разряд, класс и facio – делаю, раскладываю) – система соподчиненных понятий (классов объектов) какой-либо области знания или деятельности человека, часто представляемая в виде различных по форме схем (таблиц) и используемая как средство для установления связей между этими понятиями или классами объектов, а также для точной ориентировки в многообразии понятий или соответствующих объектов.

Б.В. Якушкин

Элементный состав современных организмов складывался под воздействием двух процессов. С одной стороны, это эволюция состава гидро- и литосферы, характеризующаяся постоянным сдвигом соотношения химических элементов из-за выщелачивания и вулканической деятельности. С другой стороны, – это «необходимое» для организма генетическое контролирование уже имеющихся внутри него на том или ином этапе соотношений.

Необходимость специальной классификации элементов в растительном мире обусловлена, прежде всего, тем, что на их рост и развитие элементы влияют не только непосредственно при попадании в организм, но и косвенно, через воздействие на микрофлору и питательный режим почвы. Как известно, растения способны поглощать из окружающей среды практически все элементы периодической системы Д.И. Менделеева. Между тем, для нормального прохождения жизненного цикла им необходимо лишь 17 из них: С, Н, О, N, P, K, Si, S, Ca, Mg, Fe, Mn, B, Co, Zn, Cu, Mo. Среди этих элементов только 14 являются собственно минеральными, а С, Н и О поступают в растения преимущественно в виде CO_2 , O_2 и H_2O . Помимо перечисленных 17-ти элементов, отдельные культуры положительно отзываются на внесение Al, Na, Cl, F, V, I, Br, Cr, Li, Se. Все элементы, входящие в группу «необходимых», физиологически равноценны, а их функции в растениях строго специфичны. Недостаток любого из них приводит к глубокому нарушению обмена веществ и физиолого-биохимических процессов у растений, ослаблению их роста и разви-

тия, снижению количества и качества продукции. При остром дефиците элементов этой группы у растений появляются характерные признаки голодания. Между тем, количественные потребности растения в том или ином элементе резко различаются [1,4].

Необходимо отметить, что термин «необходимый элемент питания» условен, по мнению А.П. Виноградова [2], все химические элементы, так или иначе, участвуют в метаболизме у растений. Отсутствие сведений о физиологическом значении химического элемента указывает лишь на трудности их получения.

Для систематизации сведений о содержании и физиологической роли химических элементов в растениях нами впервые в 2003 г. была предложена агробиохимическая классификация [3,5]. Основной принцип данной классификации – разделение химических элементов на группы, в зависимости от биологической роли и содержания их в растениях (таблица 7).

Первую группу агробиохимической классификации составляют *макроэлементы*, содержание которых в растениях превышает 0,1 % сухой массы. К ним относятся Н, О, С, N, P, K, Si.

Таблица 7 – Агробиохимическая классификация химических элементов

Группа	Элемент
1. Макроэлементы: органогенные зольные	H O C N
	P K Si
2. Мезоэлементы	S Ca Mg Fe Na Al Cl
3. Микроэлементы	B Mn Co Cu Mo Zn
4. Ультрамикроэлементы: эссенциальные неэссенциальные	V I Se Br Li F Cr
	Ba Be Bi W Gd Ga Hf Ge Ho Dy Eu Au In Ir Yb Y Cd La Lu As Nd Ni Nb Sn Os Pd Pt Pr Ra Re Rh Hg Rb Ru Sm Pb Ag Sc Sr Sb Tl Ta Te Tb Ti Th Tm U Cs Ce Zr Er
5. Инертные элементы	He Ne Ar Kr Xe Rn
6. Техногенные элементы	Ac Am At Bh Bk Cb Cf Cm Db Ds Es Fm Fr Hs Lr Md Mt No Np Pa Pm Po Pu Rf Rg Sg Tc Th

Вторую группу – *мезоэлементы*, содержание которых в сухой массе растений находится в диапазоне 0,01–0,1 %. В эту группу входят S, Ca, Mg, Fe, Na, Al, Cl.

В третью группу включены *микроэлементы*, содержащиеся в сухой массе растений в количестве от 0,0001 до 0,01 %. Это В, Mn, Co, Cu, Mo, Zn.

Четвертая группа представлена *ультрамикроэлементами*. Содержание этих элементов в сухой массе растений не превышает 0,0001 %. Это самая большая по численности группа элементов. Сюда входят V, I, Se, Ba, Be, Br, Bi, W, Gd, Ga, Hf, Ge, Ho, Dy, Eu, Au, In, Ir, Yb, Y, Cd, La, Li, Lu, As, Nd, Ni, Nb, Sn, Os, Pd, Pt, Pr, Ra, Re, Rh, Hg, Rb, Ru, Sm, Pb, Ag, Sc, Sr, Sb, Tl, Ta, Te, Tb, Ti, Th, Tm, U, F, Cr, Cs, Ce, Zr, Er.

Группу ультрамикроэлементов подразделили на две подгруппы: 1. *Эссенциальные*, т. е. жизненно необходимые и 2. *Неэссенциальные* – те, которые могут стимулировать рост и развитие растений, но в полной мере не соответствуют требованиям, предъявляемым необходимым и не заменимым элементам питания.

Пятая группа – *инертные элементы*, т. е. химические элементы, образующие главную подгруппу 8-й группы периодической системы Д.И. Менделеева. Возможность их поступления в растения доказана, однако, функции этих элементов не выявлены.

Шестая группа – *техногенные элементы* (элементы, не обнаруженные в земной коре; их поступление в растение связано с техногенезом).

Агробиохимическая классификация химических элементов, на наш взгляд, в наибольшей степени отвечает потребностям агрохимиков и физиологов растений.

В условиях оптимизации минерального питания растений будет возрастать значимость не только макроудобрений, но и удобрений, содержащих мезо-, микро-, и ультрамикроэлементы. Однако использование ультрамикроэлементов в растениеводстве на сегодняшний день останется проблематичным, т. к. интервал их эффективных концентраций очень узок и легко можно перейти границу положительного действия. Это также справедливо в какой-то степени и для микроэлементов, относящихся к группе тяжелых металлов. К тому же избыточное накопление микро- и ультрамикроэлементов в растениях снижает продуктивность агрофитоценоза,

а также представляет определенную опасность для здоровья человека и животных.

Изложение материала в данной книге находится в соответствии с предлагаемой нами агробиохимической классификацией химических элементов.

Литература

1. Агрохимия / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: «Агрохимэкокодружество», 2017. – 854 с.
2. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
3. Шеуджен А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003.- 1028 с.
4. Шеуджен А.Х. Агрохимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, И.С. Котляров. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.
5. Шеуджен А.Х. Агробиогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.

4 ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

Плодородие почвы – способность почвы удовлетворять потребность растений в элементах питания, воде, обеспечивать ее корневую систему достаточным количеством воздуха, тепла и благоприятной физико-химической средой для нормального роста и развития.

И.С. Кауричев, Н.Н. Розов

Физико-химические и агрохимические свойства почвы влияют на ее питательный режим и биологическую активность, эффективность удобрений, величину урожая и качество.

В.Г. Минсеев

Физико-химические свойства почв – это свойства почвы, связанные с ее поглощающим комплексом. К ним относятся емкость катионного обмена, состав и сумма поглощенных катионов, степень насыщенности почвы основаниями, различные виды кислотности и рН почвенного раствора.

Физико-химические свойства почвы, непосредственно действуют на агрохимические показатели и ее биологическую активность, обуславливают характер трансформации и агроэкологическую эффективность удобрений. В свою очередь внесение удобрений сопровождается изменениями физико-химических свойств почвы. Эти изменения могут иметь как положительный, так и отрицательный характер. Внесение органических удобрений, как правило, способствует увеличению емкости катионного обмена и суммы поглощенных катионов, снижению обменной и гидролитической кислотностей и возрастанию степени насыщенности почвы основаниями [3]. Применение минеральных удобрений приводит к подкислению почвы, снижению емкости поглощения и содержания обменных катионов кальция и магния [2]. Это происходит, с одной стороны, из-за поглощения почвой катионов, входящих в состав удобрений, и подкисления реакции почвенного раствора в результате вытеснения из поглощающего комплекса почвы ионов водорода и алюминия; с другой – из-за применения физиологически кислых удобрений. Вместе с тем отрицательные последствия применения минеральных

удобрений часто переоцениваются. Характер действия минеральных удобрений на физико-химические свойства почвы зависит от природно-территориального комплекса, форм и норм вносимых удобрений и длительностью их применения [68].

Перед закладкой опыта (1981 г.) пахотный 0-20 см слой почвы характеризовался следующими физико-химическими показателями: $pH_{\text{водн.}}$ – 6,8; pH_{HCl} – 6,6; гидролитическая кислотность (H_f) – 1,83 мг-экв./100 г; сумма поглощенных оснований (S) – 43,1 мг-экв./100 г; емкость катионного обмена (T) – 44,9 мг-экв./100 г; степень насыщенности почвы основаниями (V) – 95,9 %.

Мониторинг за физико-химическими свойствами чернозема выщелоченного выявил ряд обозначившихся тенденций их изменений, обусловленных продолжительностью сельскохозяйственного использования почвы и применением удобрений. На всех анализируемых вариантах опыта отмечено подкисление почвенного раствора. Наименее заметен этот процесс в севообороте без удобрений, где $pH_{\text{водный}}$ снижался на 0,3 и $pH_{\text{солевой}}$ – на 0,8 единицы (таблица 8). Применение минеральных удобрений несколько усиливает этот процесс. Так, при оптимальной системе удобрения культур севооборота ($N_{1740}P_{1740}K_{1160}$) $pH_{\text{водный}}$ снижается на 0,4, $pH_{\text{солевой}}$ – на 0,9 единиц. Внешение повышенного количества минеральных удобрений ($N_{2610}P_{2610}K_{1740}$) сопровождается более значительным подкислением почвы.

Таблица 8 – Изменение pH чернозема выщелоченного по ротациям севооборота

Ротация	Без удобрений		$N_{870}P_{870}K_{580}$		$N_{1740}P_{1740}K_{1160}$		$N_{2610}P_{2610}K_{1740}$	
	вод-ный	соле-вой	вод-ный	соле-вой	вод-ный	соле-вой	вод-ный	соле-вой
Исходное (1981 г.)	6,8	6,6	6,8	6,6	6,8	6,6	6,8	6,6
Первая	6,8	6,2	6,8	6,1	6,7	5,9	6,7	5,8
Вторая	6,7	6,0	6,5	5,8	6,4	5,7	6,2	5,5
Третья	6,5	5,8	6,4	5,7	6,3	5,5	6,1	5,4

$pH_{\text{водный}} NCP_{05}$ для сравнения норм удобрений = 0,2;

NCP_{05} для сравнения по ротациям = 0,3

$pH_{\text{солевой}} NCP_{05}$ для сравнения норм удобрений = 0,3;

NCP_{05} для сравнения по ротациям = 0,5

Гидролитическая кислотность почвы в процессе агрогенеза немного увеличивалась как на севообороте без удобрений, так и с их внесением (таблица 9). В наименьшей мере она повышалась в не удобряемой почве: на 0,15 мг-экв./100 г. Внесение удобрений усиливало повышение гидролитической кислотности тем сильнее, чем выше их внесенное количество – на 0,17-0,31 мг-экв./100 г почвы. Скорость, с которой она возрастала, увеличивалась по мере длительности сельскохозяйственного использования почвы, т. е. от первой ротации к третьей.

Таблица 9 – Динамика гидролитической кислотности чернозема выщелоченного по ротациям севооборота, мг-экв./100 г почвы

Ротация	Без удобрений	N ₈₇₀ P ₈₇₀ K ₅₈₀	N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	N ₂₆₁₀ P ₂₆₁₀ K ₁₇₄₀
Исходное (1981 г.)	1,83	1,83	1,83	1,83
Первая	1,84	1,84	1,84	1,85
Вторая	1,92	1,97	2,05	2,10
Третья	1,98	2,00	2,10	2,14

НСР₀₅ для сравнения норм удобрений = 0,09;

НСР₀₅ для сравнения по ротациям = 0,08

На неудобренном севообороте подкисление вызывается усиливающейся минерализацией гумуса. Высвобождающиеся при этом фульвокислоты имеют явно выраженную повышенную кислотность. Подкисление почвы связано и с физиологической кислотностью применяемых на полях севооборота азотных и калийных удобрений, а также необменным поглощением одновалентных катионов в сочетании с отсутствием условий для вымывания ионов водорода и кислотных остатков. Гидролитическая кислотность повышалась, в частности, из-за обеднения почвы кальцием в результате его выщелачивания из почвы и потребления растениями. Следует также отметить, что влияние минеральных удобрений на кислотность почвенного раствора значительно слабее, чем минерализации гумуса [9].

Реакция почвенного раствора, как правило, тесно связана с составом почвенного поглощающего комплекса. После первой ротации неудобряемого севооборота сумма поглощенных катионов почвы уменьшилась на 0,88 мг-экв., второй – 1,51, третьей -2,13 мг-экв./100 г (таблица 10). При оптимальной (N₁₇₄₀P₁₇₄₀K₁₁₆₀) для питания растений системе удобрения севооборота эти изменения были значительно ни-

же и составляли соответственно – 0,69 мг-экв., 0,94 и 1,22 мг-экв./100 г почвы, а повышенных нормах (N₂₆₁₀P₂₆₁₀K₁₇₄₀) – выше – 0,91, 1,87 и 2,38 мг-экв./100 г. При такой общей тенденции на всех вариантах применения удобрений в почвенном поглощающем комплексе уменьшалось количество катионов кальция и магния и повышалось – калия и аммония. В неудобряемой почве содержание двух- и одновалентных катионов сокращалось. Следовательно, удобрения, внесенные в оптимальных количествах, сдерживая обеднение почвы обменно-поглощенными катионами, выполняют экологическую функцию.

Таблица 10 – Содержание обменных катионов, емкость катионного обмена и степень насыщенности основаниями чернозема выщелоченного

Вариант	Обменные катионы, мг-экв./100 г					Емкость катионного обмена, мг-экв./100 г	Степень насыщенности основаниями, %
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	сумма		
Исходное (1981 г.)	31,6	11,2	0,14	0,16	43,1	44,93	95,93
Первая ротация							
N ₀ P ₀ K ₀	31,0	11,0	0,12	0,10	42,22	44,06	95,82
N ₈₇₀ P ₈₇₀ K ₅₈₀	31,0	11,2	0,13	0,12	42,45	44,29	95,85
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	30,9	11,1	0,19	0,22	42,41	44,25	95,84
N ₂₆₁₀ P ₂₆₁₀ K ₁₇₄₀	30,6	11,0	0,31	0,28	42,19	44,04	95,80
Вторая ротация							
N ₀ P ₀ K ₀	30,5	10,9	0,10	0,09	41,59	43,51	95,59
N ₈₇₀ P ₈₇₀ K ₅₈₀	30,4	11,0	0,21	0,22	41,83	43,80	95,50
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	30,5	10,9	0,32	0,44	42,16	44,21	95,36
N ₂₆₁₀ P ₂₆₁₀ K ₁₇₄₀	30,0	10,6	0,18	0,45	41,23	43,33	95,15
Третья ротация							
N ₀ P ₀ K ₀	30,0	10,8	0,09	0,08	40,97	42,95	95,39
N ₈₇₀ P ₈₇₀ K ₅₈₀	29,9	10,7	0,25	0,23	41,08	43,08	95,36
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	29,8	10,7	0,66	0,72	41,88	43,98	95,23
N ₂₆₁₀ P ₂₆₁₀ K ₁₇₄₀	28,7	10,5	0,78	0,74	40,72	42,86	95,01
НСР ₀₅ для сравнения норм удобрения	0,47	0,17	0,32	0,26	–	0,47	–
НСР ₀₅ для сравнения по ротациям	0,40	0,15	0,28	0,23	–	0,40	–

Процесс подкисления почвы и снижения содержания суммы поглощенных оснований сопровождался изменением емкости катионного обмена. Обозначилась общая тенденция к ее сокращению, но весьма незначительному. В наибольшей мере она снижалась в почве на севообороте без применения удобрений и внесении в избыточном количестве. Удобрения, внесенные в оптимальной норме ($N_{1740}P_{1740}K_{1160}$) выступали фактором, сдерживающим сокращение емкости катионного обмена почвы.

Степень насыщенности почвенного поглощающего комплекса катионами не подверглась значительным изменениям, хотя наблюдается слабая тенденция ее уменьшения как на неудобряемых, так и на систематически удобряемых полях севооборота. Степень насыщенности катионами систематически удобряемой почвы несколько ниже, чем неудобряемой [5-8].

Вывод. По завершении третьей ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота в целом не отмечено значительных изменений физико-химических свойств чернозема выщелоченного как в севообороте без удобрений, так и с их внесением, что указывает на высокую его буферность. Применение минеральных удобрений в научно-обоснованных нормах не приводит к существенному изменению кислотности почвенного раствора, суммы поглощенных катионов, емкости катионного обмена, степени насыщенности почвы основаниями. Гипотеза об отрицательном их влиянии на эти показатели не подтвердилась. Научно-обоснованная система удобрения является неотъемлемым звеном высокой культуры земледелия, и не служит (и не может служить!) фактором деградации почв. Последнее возможно лишь как следствие применения удобрений без учета условий природно-территориального комплекса в количестве, превышающем потребность культур севооборота.

Литература

1. Будихер Т.Н. Изменение плодородия чернозема выщелоченного под влиянием длительного применения удобрений: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Т.Н. Будихер. – Краснодар, 1996. – 26 с.
2. Городний Н.Г. Влияние длительного применения удобрений на агрохимические свойства почвы и урожай культур конопляного севооборота / Н.Г. Городний / Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. Вып. 1 – М.: Изд-во МСХ СССР, 1960. С. 86-125.

3. Жукова Л.М. Влияние систематического применения удобрений на физико-химические свойства различных почв / Л.М. Жукова / Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. – М.: Колос, 1980. С. 41-60.

4. Минеев В. Г. Агрохимия / В. Г. Минеев. — М.: МГУ, 2006. – 752 с.

5. Столяров А.И. Плодородие чернозема выщелоченного Кубани и продуктивность сельскохозяйственных культур / А.И. Столяров, Л.М. Онищенко // Энтузиасты аграрной науки. – Краснодар: КубГАУ. 2003. Вып. 1. С. 91-106.

6. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения удобрений на физико-химические свойства чернозема выщелоченного / А.Х. Шеуджен, М.А. Осипов, И.А. Лебедовский, С.В. Есипенко // Агрохимический вестник, 2013, № 6. С. 2-3.

7. Шеуджен А.Х. Плодородие и продуктивность чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений в севообороте / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, В.П. Суетов, В.В. Дроздова, Т.Н. Бондарева, И.А. Лебедовский, С.В. Жиленко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, И.А. Буддыкова / 75 лет Географической сети опытов с удобрениями. Матер. Всерос. совещ. науч. учреждений-участников Георг, сети опытов с удобрениями (5 октября 2016 г.). – М.: ВНИИА, 2016. – С 326-336.

8. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения минеральных удобрений на продуктивность и плодородие чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, И.А. Лебедовский, В.В. Дроздова, Т.Н. Бондарева, М.А. Осипов, В.П. Суетов, С.В. Жиленко, С.В. Есипенко // Энтузиасты аграрной науки. 2017. Вып. 18. С. 61-75.

9. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения минеральных удобрений на плодородие чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, Т.Н. Бондарева, В.В. Дроздова, И.А. Лебедовский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Агрохимия. 2017. – №5. – С.3-11.

10. Шильников И.А. Потери элементов питания растений в агробиохимическом круговороте веществ и способы их минимизации / И.А. Шильников, В.Г. Сычев, А.Х. Шеуджен, Н.И. Аканова, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – М.: ВНИИА, 2012. – 351 с.

5 ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

Гумус различных почв отличается не только по своему элементарному составу, но и по соотношению входящих в него компонентов и по степени дисперсности, в свою очередь связанной с химизмом и физическими свойствами отдельных фракций.

А.Н. Соколовский, 1956

Почвенный покров выполняет на поверхности суши Земли роль тончайшей глобальной мембраны, через которую осуществляются многочисленные процессы обмена веществ и энергии между атмосферой, гидросферой, литосферой и всеми организмами на суше, включая и человека. Эта важная функция почвенного покрова проявляется благодаря формированию в нем гумуса, который является мощным геохимическим аккумулятором преобразования и накопления солнечной энергии. Содержание гумуса в почве принято считать одним из основных показателей ее плодородия [6].

Роль гумуса в почве многогранна. От его содержания зависят физические, водно-физические, химические, физико-химические и экологические свойства почвы, ее микробиологическая активность. Гумус является одним из основных звеньев непрерывной цепи трофических связей между различными группами микроорганизмов. Он замыкает эту цепь и в то же время служит ее первым звеном. В его состав входят практически все элементы, необходимые для питания растений. Гумус может поглощать токсические вещества и тяжелые металлы, попадающие в почву, и тем самым затруднять их поступление в грунтовые воды и в растения. Это имеет важное значение с точки зрения качества сельскохозяйственной продукции и кормов, а также охраны окружающей среды. В данном случае гумус почвы выполняет санитарно-гигиеническую роль [11,13].

В зависимости от сочетания комплекса природных факторов типы почв различаются по содержанию и качественному составу гумуса. Черноземы относятся к наиболее гумусированным типам почв [10]. Большую роль в образовании гумуса в черноземах играет быстро образующиеся фульвокислоты; гуматный состав этих почв обусловлен большей устойчивостью гуминовых кислот по сравнению с фульвокислотами. За 4 тыс. лет соотношение С_{гк} : С_{фк} в

черноземах Предкавказья возросло от 1,7 до 2,4, т. е. эта величина – функция не только биоклиматических условий и литологии, но и времени [4]. Около 90 % ежегодно возникающих гумусовых веществ минерализуется, и лишь 10 % закрепляется в почве [3].

Содержание гумуса и соотношение отдельных групп гумусовых веществ в черноземах считаются близкими к оптимальным, что обеспечивает их высокое плодородие. Однако в последние годы у ученых-аграрников вызывает беспокойство ухудшение этих генетических характеристик, связанное с интенсификацией сельскохозяйственного производства. Оценка и прогнозирование гумусового состояния почв – важная научно-практическая задача, от результатов решения которой зависят плодородие почвы, эффективность удобрений и продуктивность агроценоза [2].

Учитывая, что содержание гумуса – это относительно стабильная почвенная характеристика, выявить ее изменения в большинстве случаев возможно только в ходе длительных наблюдений. В связи с этим содержание и фракционно-групповой состав гумуса в черноземе выщелоченном в стационарном опыте сравнивали с первоначальными величинами этих показателей (таблица 11).

До закладки стационарного опыта почва содержала 3,48 % гумуса. После трех ротаций 11-польного севооборота его количество на контрольном неудобрявшемся варианте снизилось до 3,24 %, т. е. на 0,24 %. В варианте опыта с внесением минеральных удобрений за указанный период количество гумуса в слое 0–20 см практически не изменилось и составило 3,52 %. Стабилизация содержания гумуса в почве произошла за счет большего по сравнению с контролем поступления нетоварной части урожая, корневых и пожнивных остатков. К аналогичным выводам пришли А.П. Карабутов и Г.И. Уваров [5]. Обобщая результаты своих многолетних исследований на базе стационарного полевого многофакторного опыта, они пришли к выводу, что: «действие минеральных удобрений на содержание гумуса зависит от вида севооборота. Так, в зерно–травяно–пропашном севообороте с наличием многолетних трав, его содержание возросло на 0,10 %, а в зерно–паро–пропашном – произошло его снижение. Однако снижение содержание гумуса наблюдалось в меньшей степени, чем без удобрений». Е.В. Навольнева, В.Д. Соловиченко, А.Г. Ступаков и М.А. Куликова [7] также зафиксировали положительное влияние минеральных удобрений на гумусное состояние чернозема типичного в условиях зерно–травяно–пропашного севооборота.

Таблица 11 – Содержание и фракционно-групповой состав гумуса чернозема выщелоченного

Вариант	Слой, см	Гумус, %	C _{общ.} , %	Фракция ГК				Фракция ФК					ГК+ФК	C _{ГК} :C _{ФК}	Гумины, % от C _{общ.}
				1	2	3	сумма	1а	1	2	3	сумма			
				% от C _{общ.}											
До освоения севооборота	0-20	3,48	2,02	4,70	34,40	6,4	45,5	4,10	1,09	3,81	9,4	17,7	63,2	2,56	36,8
	21-40	3,30	1,91	3,14	36,15	5,2	44,5	4,19	2,62	2,08	9,4	18,3	62,8	2,43	37,2
После 3-х ротаций севооборота															
Контроль	0-20	3,24	1,88	8,5	30,3	7,2	46,0	3,6	5,4	3,2	6,3	18,5	64,5	2,49	35,5
	21-40	2,81	1,63	7,9	27,7	6,7	42,3	4,5	4,6	4,3	6,8	20,2	62,5	2,09	37,5
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	3,52	2,04	8,6	30,4	7,3	46,3	4,3	6,5	5,7	8,0	24,5	70,8	1,89	27,2
	21-40	2,98	1,73	9,1	29,5	6,9	45,5	5,3	5,6	4,6	6,2	21,7	67,2	2,10	31,8

Важным показателем гумусного состояния почв является отношение в составе гумуса углерода гуминовых и фульвокислот (Сгк :Сфк), т. е. групповой состав гумуса. В разных почвах оно колеблется от 0,5 до 2,0-2,5. В групповом составе гумуса чернозема выщелоченного доминируют гуминовые кислоты и гумины, доля фульвокислот заметно ниже.

Гумус стационарного участка до закладки опыта характеризовался гуматным составом, при этом, отношение Сгк : Сфк в пахотном слое было несколько ниже, чем в подпахотном. Использование почвы в зерново-травяно-пропашном севообороте в течение трех ротаций без применения удобрений сопровождалось несущественными изменениями этого показателя. В этом варианте соотношение Сгк : Сфк в пахотном 0-20 см слое осталось на начальном уровне. В нижележащем слое 21-40 см оно заметно уменьшилось, однако смены типа гумуса в этом варианте не произошло.

Более заметное изменение соотношения Сгк : Сфк отмечено в пахотном слое почвы при внесении минеральных удобрений. В этом варианте за указанный период установлено увеличение доли фульвокислот и переход типа гумуса в слое 0-20 см из гуматного в фульватно-гуматный – Сгк : Сфк = 1,89. В подпахотном слое 21-40 см как в варианте без применения минеральных удобрений, так и с их внесением, отношение Сгк : Сфк в образцах почвы, отобранных в конце третьей ротации севооборота, не отличалось от исходного.

После многолетнего использования почв в зерново-травяно-пропашном севообороте, как с применением минеральных удобрений, так и без них, не отмечено существенного изменения доли гуминовых кислот. При этом участие фульвокислот в составе гумуса возросло, причем в большей степени в варианте с применением минеральных удобрений. Приращение составило в слоях 0-20 и 21-40 см соответственно 0,8 и 1,9 % в варианте без внесения удобрений и 6,8 и 2,6 % с их использованием. Одновременно снижалась доля негидролизующего, т. е. инертного остатка.

В черноземе выщелоченном стационарного опыта в составе гуминовых кислот преобладали гуматы кальция (ГК-2), на них приходилось более 60 % от суммы фракций гуминовых кислот. Доли фракций ГК-1 (свободные и связанные с подвижными полуторными оксидами) и ГК-3 (связанные с глинистыми минералами и неподвижными формами полуторных оксидов) составили 18,5-20,0 % и 15,2-15,8 %

соответственно. Между вариантами опыта существенных различий в содержании фракций гуминовых кислот не установлено – после трех ротаций севооборота не произошло старения и усложнения гумуса под воздействием удобрений: доля связанных с кальцием (ГК-2) и устойчивыми формами оксидов железа, алюминия и глинистыми минералами (ГК-3) гуминовых кислот не возросла. Таким образом, не обнаружено перераспределения между фракциями в составе гуминовых кислот под влиянием минеральных удобрений.

Вместе с тем следует отметить, что в обоих вариантах опыта после третьей ротации севооборота выявлено повышение в среднем в 2 раза доли фракции ГК-1 и снижение доли фракции ГК-2 по сравнению с исходной почвой [8,9]. Это обусловлено комплексом причин, в числе которых – некомпенсируемые потери кальция из корнеобитаемого слоя почвы в результате его выноса сельскохозяйственными культурами, а также более интенсивного вымывания в нижележащие горизонты из-за увеличения количества осадков за период наблюдения – более чем на 20 % по сравнению со средними многолетними данными [12,14]. Кроме того, повышение увлажненности почв способствует увеличению подвижности полуторных оксидов и их соединений, что может являться одним из факторов, приведшим к росту количества фракции ГК-1.

На долю свободных фульвокислот (ФК-1а), связанных с подвижными полуторными оксидами (ФК-1), кальцием (ФК-2) и неподвижными полуторными оксидами (ФК-3), приходится соответственно 17,6-24,4 %, 22,7-29,2, 17,3-23,3 и 28,6-34,0 % от их суммы. Ярко выраженной закономерности в распределение фракций ФК по профилю почвы не выявлено. Отмечается более высокое содержание всех фракций фульвокислот, кроме ФК-1а, в почве удобряемого участка по сравнению с контрольным. Обогащение чернозема выщелоченного фульвокислотами, связанными с кальцием (ФК-2), а также неподвижными формами полуторных оксидов и глинистыми минералами (ФК-3), в некоторой степени способствует повышению устойчивости гумуса к минерализации.

При сравнительном анализе данных, полученных после третьей ротации севооборота и до закладки стационарного опыта, установлено, что за прошедший период произошло увеличение количества фракций ФК-1 и ФК-2 и уменьшение доли ФК-3.

Длительное применение минеральных удобрений снизило долю неэкстрагируемой части гумуса – гуминов на 8,3 % от $S_{\text{общ}}$ в

пахотном 0-20 см слое чернозема выщелоченного и на 5,7 % – в подпахотном 21-40 см слое. Между содержанием гуминов и фульвокислот установлена тесная обратная связь ($r = -0,71$). Данный факт может объясняться тем, что новообразование гумусовых веществ сопровождается фракционированием системы на гуминовые кислоты и фульвокислоты: чем ниже содержание негидролизуемого остатка, который может разрушаться при длительном воздействии минеральных удобрений, тем больше количество гуминовых кислот и фульвокислот [6]. С другой стороны, при новообразовании гумусовых соединений образуются, прежде всего, менее сложно организованные фульвокислоты, в результате чего возрастает именно их доля в составе гумуса [15,16].

Выводы. Сельскохозяйственное использование чернозема выщелоченного Западного Предкавказья в течение трех ротаций 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота без применения удобрений привело к снижению содержания гумуса на 0,24 %. Научно-обоснованная система применения минеральных удобрений в севообороте обеспечивала стабилизацию содержания гумуса за счет большего поступления в почву нетоварной части урожая, корневых и пожнивных остатков. Применение минеральных удобрений под культуры севооборота не отразилось на доле гуминовых кислот в гумусе, но способствовало увеличению в его составе фульвокислот и снижению гуминов. Основываясь на результатах анализа фракционного состава гумуса, следует отметить, что оптимизация питания растений за счет минеральных удобрений способствует обогащению чернозема выщелоченного фульвокислотами, связанными с кальцием (ФК-2), а также неподвижными полуторными оксидами и глинистыми минералами (ФК-3), что в некоторой степени способствует повышению его устойчивости к минерализации.

Литература

1. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – 288 с.
2. Безуглова О.С. Гумусное состояние почв юга России / О.С. Безуглова. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦВШ, 2001. – 228 с.
3. Ганжара Н.Ф. О гумусообразовании в почвах черноземного типа / Н.Ф. Ганжара // Почвоведение. 1974. №7. – С. 39-43.

4. Геннадиев А.Н. Изменчивость во времени свойств черноземов и эволюции природной среды (Ставропольская возвышенность) / А.Н. Геннадиев // Вест. Моск. ун-та. Серия 5. География. 1984. № 5. – С. 10-16.

5. Карабутов А.Л. Гумусное состояние чернозема типичного в зависимости от интенсивности использования / А.П. Карабутов, Г.И. Уваров / Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: Тез. докл. VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Ч. 1. Отв. ред. С.А. Шоба, Ш.О. Савин. – М.-Белгород: Издат. дом «Белгород». 2016. С. 81-82.

6. Курганова Е.В. Плодородие и продуктивность почв Московской области / Е.В. Курганова. – М: МГУ, 2002. – 320 с.

7. Навольнева Е.В. Гумусное состояние чернозема типичного в условиях антропогенеза / Е.В. Навольнева, В.Д. Соловichenко, А.Г. Ступаков, М.А. Куликова // Белгородский агромир. 2016. № 3(98). С. 31-32.

8. Райкова Т.Н. Влияние длительного применения удобрений на фракционно-групповой состав гумуса и азотный режим выщелоченного чернозема / Т.Н. Райкова // Тр. КубГАУ. 1994. Вып. 339(367). С. 18-22.

9. Райкова Т.Н. Влияние длительного применения удобрений на фракционно-групповой состав гумуса и азотный режим почвы / Т.Н. Райкова // Тр. КубГАУ. 1995. Вып. 350 (378). С. 31-37.

10. Самойлов Е.М. Органическое вещество почв черноземной зоны / Е.М. Самойлов, А.П. Сизов, В.П. Яковченко. – Киев: Наукова думка 1990. – 120 с.

11. Шеуджен А.Х. Органическое вещество почвы и методы его определения / А.Х. Шеуджен, Н.Н. Нещадим, Л.М. Онищенко. – Майкоп: «Полиграфиздат «Адыгя», 2007. – 344 с.

12. Шеуджен А.Х. Влияние доз и сочетаний минеральных удобрений на урожай и качество сельскохозяйственных культур, возделываемых на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, А.И. Столяров, Л.П. Леплявченко, Л.И. Громова, В.П. Суетов, Л.М. Онищенко, В.В. Дроздова, Е.Е. Ерезенко // Тр. КубГАУ / 2008. Вып. 431(459). С. 160-184.

13. Шеуджен А.Х. Органическое вещество почвы и его экологические функции / А.Х. Шеуджен., Н.Н. Нещадим, Л.М. Онищенко. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – 202 с.

14. Шеуджен А.Х. Природно-ресурсный потенциал Северокавказского экономического региона Российской Федерации / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2012. -42 с.

15. Шеуджен А.Х. Изменение содержания и качества гумуса при сельскохозяйственном использовании чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, Т.Ф. Бочко, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Проблемы агрохимии и экологии. 2014. № 2. С. 8-11.

16. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2015. – 232 с.

6 АНИОНО-КАТИОННЫЙ СОСТАВ ВОДНОЙ ВЫТЯЖКИ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

Почвенный раствор является «живой плотью почвы», так как представляет собой интегральный показатель происходящих в ней процессов и режимов.

А.Н. Соколовский, 1956

В настоящее время считается общепринятым, что при данных условиях произрастания растений поглощение корнями растворенных веществ зависит от их концентрации в почвенном растворе, на которую в значительной степени влияет буферность почвы [4].

На значимость содержащихся в воде питательных веществ для растений первым в 1701 г. обратил внимание английский ученый Джон Вудворд. Он, вырастив мяту курчавую в примитивном «питательном» растворе, писал: «Было показано, что в дождевой, родниковой и речной воде содержится значительное количество (земного) вещества. Большая часть жидкости, которая проникает в растения, не остается в них, а проходит через поры и испаряется в атмосферу. Значительная часть смешанного с водой земного вещества проникает вместе с ней в растение, рост которого зависит от того, какое количество этого вещества содержится в воде». Затем в 1804 г. швейцарский естествоиспытатель Никола Теодор Соссюр показал, что корень обладает избирательной способностью и может адсорбировать соли из воды с различными скоростями. Он же одним из первых выделил почвенный раствор путем уплотнения почвы [10]. Идея о том, что почвенный раствор служит основным источником питательных веществ для растений, была в дальнейшем выдвинута М. Whitney и Ф.К. Cameron [15].

Рассматривая почвенную влагу как одну из самых важных в истории биосферы планеты категорий природных вод, В.И. Вернадский считал ее основным элементом механизма биосферы и «основным субстратом жизни». «Для того чтобы продвинутся в разрешении многих теоретических, так и чисто практических вопросов агрономии в самом широком смысле этого слова, – писал К.К. Гедройц [2], – необходимо так или иначе подойти к разрешению вопроса о почвенном растворе, необходимо изучить состав раствора и изменчивость его во времени в зависимости от изменений внешних усло-

вий; без всякого преувеличения можно сказать, что от степени разрешения этого вопроса зависят дальнейшие успехи агрономии».

Почвенный раствор представляет самый изменчивый компонент почвы. Это обусловлено, с одной стороны, множеством непосредственно воздействующих на нее факторов, с другой – практическим отсутствием инерциональности ее состава, что обусловлено активностью растворенных форм элементов, незначительной доли их в сравнении с содержанием в твердой части и живом веществе и большой поверхностью соприкосновения почвенного раствора с другими компонентами почвы.

В этом смысле состав и динамика почвенного раствора – индикатор экологического состояния почвы и в наибольшей степени соответствует понятию современных почвенных процессов («почва – момент» в отличие от термина «почва – память» в трактовке В.О. Таргуляна и И.А. Соколова) [7].

В почвенный раствор соли поступают из минералов, разложившихся растительных остатков, животных, микроорганизмов и, а также, в результате внесения в почву минеральных и органических удобрений [3,5].

Состав и концентрация почвенного раствора являются результатом биологических, физических, физико-химических и химических процессов, которые протекают в почве в тесной зависимости от её влажности, температуры и аэрации [1].

В незасоленных почвах концентрация почвенного раствора находится в пределах от десятых долей до нескольких целых граммов в литре, или примерно от 5 до 150 мг-экв./л катионов и анионов. В составе раствора могут быть анионы HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- , $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$, PO_4^{3-} , катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , H^+ . В сильноокислых почвах могут присутствовать Al^{3+} , Fe^{3+} , а в заболоченных – Fe^{2+} . В чрезвычайно малых количествах в нем присутствуют катионы Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} и другие микроэлементы [5,6].

Из органических соединений в почвенном растворе могут находиться гумусовые вещества, а также водорастворимые вещества растительных остатков и продукты их разложения, а также метаболиты жизнедеятельности растений и микроорганизмов – органические кислоты, сахара, аминокислоты, спирты, ферменты, дубильные вещества. Кроме минеральных и органических веществ, почвенный раствор всегда содержит растворенные в нем газы, из которых наиболее актив-

ными являются кислород (O_2) и диоксид углерода (CO_2). Существенное влияние на состав почвенного раствора оказывают вносимые на поля органические и минеральные удобрения. Они служат не только источником поступления ионов в почвенный раствор, но, изменяя физико-химические и биологические процессы в почвах, могут оказать воздействие на его анионный и катионный состав.

Из-за несовершенства и определенной громоздкости выделения почвенных растворов, исследователи чаще всего ограничиваются анализом водной вытяжки почвы, которая в определенной степени имитирует почвенный раствор. Хотя количество солей, найденных в водной вытяжке, не всегда соответствуют содержанию их в почвенном растворе [3].

Анализ водной вытяжки – один из основных анализов при химическом исследовании засоленных почв, изучении динамики почвенных процессов и содержания элементов питания. Установлено, что при 3-минутном взбалтывании почвы с водой при отношении почвы к воде 1:5 в водную вытяжку переходят все легкорастворимые соли. Поэтому такое соотношение и время взбалтывания общеприняты при химическом исследовании почв [12,13].

Ионохроматографический анализ водной вытяжки из почвы обеспечил отчётливое разделение и количественное определение пяти анионов из семи, таких как фторид, хлорид, нитрат, сульфат и фосфат в диапазоне концентраций от 0,16 до 9,31 мг/100 г для слоя 10-20 см и от 0,24 до 7,16 мг/100 г для слоя 21-40 см (рисунок 3; [12]).

Среди анионов преобладал нитрат- и хлорид-ион, почти в равных количествах присутствовал сульфат- и фосфат-ион, значительно меньше – фторид-ион. Содержание бромидов и нитрита в водной вытяжке исследуемой почвы обнаружено не было.

Результаты исследований показали, что систематическое внесение минеральных удобрений оказало влияние на анионо-катионный состав водной вытяжки чернозёма выщелоченного (таблица 12; [13]).

Как известно, наряду с положительным действием минеральных удобрений (повышение урожая, сохранение плодородия почвы), их внесение может привести и к негативным последствиям. В составе удобрений могут присутствовать токсические примеси, а именно фтор, тяжелые и редкоземельные элементы. Наибольшее количество токсикантов содержат фосфорные удобрения. Так, по-

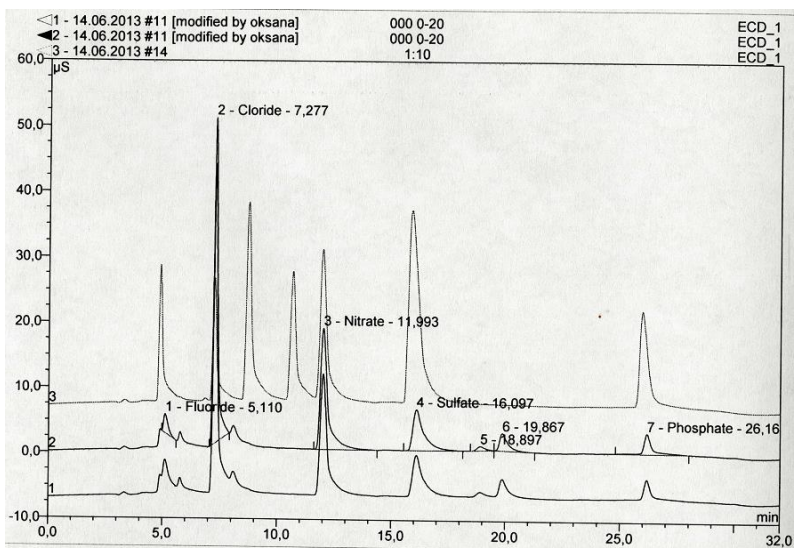


Рисунок 3– Пример разделения анионов водной вытяжки чернозема выщелоченного для слоя 0-20 см: 1 хроматограмма – вариант с NPK; 2 хроматограмма – вариант без удобрений; 3 хроматограмма – раствор стандартных анионов

Таблица 12 – Анионо-катионный состав водной вытяжки чернозёма выщелоченного, мг на 100 г абсолютно сухой почвы

Ион	Без удобрений		N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	
	0-20 см	21-40 см	0-20 см	21-40 см
HCO ₃ ⁻	12,32	10,16	16,05	14,12
Cl ⁻	3,87	4,28	4,56	3,80
F ⁻	0,16	0,24	0,44	0,29
NO ₃ ⁻	4,37	3,34	9,31	7,16
SO ₄ ²⁻	1,57	1,69	2,07	1,76
PO ₄ ³⁻	1,66	1,42	1,97	2,00
K ⁺	2,70	2,17	4,00	2,70
Na ⁺	12,55	11,84	13,02	12,30
NH ₄ ⁺	6,71	4,25	12,84	11,56
Ca ²⁺	16,18	15,24	18,73	17,32
Mg ²⁺	11,20	10,61	11,84	10,88

вышенное содержание фторидов в почвах может оказать негативное влияние на их структуру, биологическую активность, кислотно-щелочные свойства, а также на жизнедеятельность почвенных микроорганизмов и увеличить подвижность гумусовых веществ. Загрязнение почвы фторидами представляет существенную опасность, поскольку они относятся к I классу высокотоксичных веществ. Величина ПДК водорастворимой формы фтора с учетом фона по транслोकационному лимитирующему показателю вредности составляет 10,0 мг/кг. Результаты исследования показали, что ежегодное внесение минеральных удобрений, в первую очередь фосфорных, привело к трехкратному увеличению концентрации фторидов в слое почвы 0-20 см, но без превышения ПДК. В слое 21-40 см содержание фторидов существенно не изменялось. Такая же тенденция наблюдалась и по содержанию в почве хлорид- и сульфат-ионов. Внесение удобрений в почву увеличивало концентрацию этих ионов в водной вытяжке по сравнению с вариантом без удобрений. Причем их фоновое содержание является типичным для этой почвы.

Основная часть почвенного азота находится в сложных органических соединениях, а поэтому недоступна для растений и усваивается только после их минерализации, осуществляемой почвенными микроорганизмами. Конечный продукт минерализации органического вещества – нитритный, нитратный и аммонийный азот [13]. Отрицательные экологические последствия, связанные с применением азотных удобрений обусловлены, прежде всего, с повышенным содержанием подвижных форм азота в почве в условиях внесения научно-необоснованных, т.е. завышенных норм удобрений [14]. Нитраты относятся ко второму классу опасности, ПДК которых составляет 130 мг/кг.

Содержание в водной вытяжке фосфат-ионов имеет огромное значение для питания растений. Доступность фосфатов зависит, прежде всего, от их физико-химического поглощения почвой, интенсивность которого определяется ее гранулометрическим составом, температурой, влажностью, величиной pH и содержанием гумуса.

Анализ водной вытяжки чернозема выщелоченного позволил выявить увеличение концентрации нитратного и аммонийного азота в 2-3 раза и повышенное содержание фосфатов в условиях систематического внесения минеральных удобрений. При этом количество нитратов в почвенном растворе не превышало допустимые нормы.

Такие условия оказывают благоприятное влияние на доступность этих ионов растениям и агрохимические показатели почвы.

В почвах обменный калий на 10-25 % представлен водорастворимыми соединениями этого элемента. Это, прежде всего, соли угольной, азотной и фосфорной кислот, являющихся наиболее легко усвояемыми формами для растений [9]. Результаты исследований показали, что внесение удобрений увеличило в 1,5 раза содержание в водной вытяжке иона калия, особенно в слое 0-20 см. На концентрацию ионов Na^+ и Mg^{2+} ежегодное применение удобрений не оказало большого влияния, их содержание в растворе вытяжки, по сравнению с вариантом без удобрений, сильно не изменялось.

Внесение минеральных удобрений в почву сопровождается обменными физико-химическими реакциями удобрений с почвенным поглощающим комплексом. Концентрация ионов Ca^{2+} подвергается колебаниям в связи с изменением содержания анионов: чем больше в почве образуется H_2CO_3 и HNO_3 , тем большее количество Ca^{2+} вытесняется водородом из почвенного поглощающего комплекса в раствор. Поэтому наблюдается параллелизм между содержанием в почвенном растворе Ca^{2+} и суммой анионов HCO_3^- и NO_3^- . Такой параллелизм наблюдается и в черноземе выщелоченном. Под воздействием минеральных удобрений эта картина проявляется отчетливее [8,11].

Выводы. Без применения минеральных удобрений происходит постепенное обеднение водной вытяжки чернозема выщелоченного водорастворимыми формами элементов питания. Систематическое внесение удобрений в почву способствовало увеличению в ней концентраций водорастворимых форм азота, фосфора и калия. При этом не выявлено превышение ПДК в водной вытяжке почвы фторидов (I класс опасности) и нитратов (II класс опасности).

Литература

1. Возбуждая А.Е. Химия почвы / А.Е. Возбуждая. – М.: Высшая школа, 1968.-428 с.
2. Гедройц К.К. Почвенный поглощающий комплекс» растение и удобрение / К.К. Гедройц. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1935. 343 с.
3. Горбунов Н.И. Минералогия и физическая химия почв / Н.И. Горбунов. – М: Наука, 1978. – 294 с.
4. Най П.Х. Движение растворов в системе почва-растение / П.Х. Най, П.Б. Тинкер. – М.: Колос, 1980. – 368 с.

5. Орлов Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. – М: МГУ, 1985. – 376 с.
6. Сердобольский, И.П. Химия почвы / И.П. Сердобольский. – М.: Изд-во АН СССР, 1953.-173 с.
7. Снакин В.В. Состав жидкой фазы почв / В.В. Снакин, А.А. Присяжная, О.В. Рухович. – М.: РЭФИА, 1997. – 325 с.
8. Шеуджен А.Х. Агрохимия и физиология питания риса / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2005. – 1012 с.
9. Шеуджен А.Х. Агрохимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.
10. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 1 (1). История и методология агрохимии / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – 644 с.
11. Шеуджен А.Х. Агрохимические основы применения удобрений / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2013. – 572 с.
12. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения минеральных удобрений на анионо-катионный состав водной вытяжки почвы / А.Х. Шеуджен, О.А. Гуторова, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Энтузиасты аграрной науки. – Краснодар: КубГАУ. 2013. Вып. 15. С. 171-175.
13. Шеуджен А.Х. Анионо-катионный состав водной вытяжки чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, О.А. Гуторова // Тр. КубГАУ. 2014. № 1(46). С. 131-134.
14. Шильников И.А. Потери элементов питания растений в агробиогеохимическом круговороте веществ и способы их минимизации / И.А. Шильников, В.Г. Сычев, А.Х. Шеуджен, Н.И. Аканова, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – М.: ВНИИА, 2012. – 351 с.
15. Whitney, M. The chemistry of soil as related to crop production/ M. Whitney, F.K. Cameron // U.S. Dept. Agr. Bur. Soils Bui. – 1903. -Vol. 22. – P. 82-88.

7 СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ИХ СОЕДИНЕНИЙ В ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ

7.1 Макроэлементы

7.1.1 Азот

Азотное голодание является тем фактором, который преимущественно перед всеми остальными ограничивает развитие жизни на Земле и задерживает размножение организмов.

С.П. Костычев, 1886

Круговорот азота в почве играет огромную роль в сельскохозяйственном производстве, обеспечивая поля азотом в количествах, пока недостижимых для самой развитой промышленности.

Д.Н. Прянишников, 1935

Изучение агрохимических свойств почв и определение их оптимальных параметров являются составной частью проблемы установления взаимосвязи между ними и продуктивностью сельскохозяйственных культур. Среди этих свойств одно из ведущих мест занимает азотный режим почв, который во многом обуславливает их плодородие.

Кларк азота в земной коре равен 0,04 %, литосфере – $1 \cdot 10^{-2}$, водах Мирового океана – $1 \cdot 10^{-5}$, почве – $1 \cdot 10^{-1}$, растениях – $3 \cdot 10^{-1}$ %, биофильность – $1,6 \cdot 10^2$, талассофильность – $2,6 \cdot 10^1$. Он является наиболее дефицитным элементом для растений практически во всех зонах, где возделывают сельскохозяйственные культуры. Роль азота почвы, как фактора продуктивности агроценозов остается значительной и при внесении азотных удобрений – около $\frac{3}{4}$ выноса элемента приходится именно на долю азота почв. Ежегодный дефицит азота составляет 20-40 кг/га от выноса его урожаем сельскохозяйственных культур. Затраты азота почвы на формирование 1 ц урожая товарной продукции озимых культур (пшеница, рожь, ячмень) в зависимости от почвенно-климатических условий составляют 1,9-3,8 кг; яровых (овес, пшеница, ячмень) – 2,0-3,0; проса – 2,8-4,0; кукурузы – 2,4-3,0; риса – 2,2-3,0; зернобобовых куль-

тур (горох, люпин, нут, соя, фасоль) – 4,5-6,8; сахарной свеклы – 0,5-1,0; картофеля – 0,6-1,2; хлопчатника – 4,0-5,0; подсолнечника – 5,0-6,0; льна масличного – 6,0-7,5 кг [10].

Содержание азота в пахотном слое почв варьирует в довольно широких пределах – от 0,05 % в песчаных подзолистых до 3,5 % в низинных торфяно-болотных. Промежуточное положение занимают черноземы, где содержание элемента в пахотном слое достигает 0,5 %. В зависимости от гранулометрического состава и культуры земледелия содержание его в дерново-подзолистых почвах колеблется в пределах 0,05-0,16 %; серых лесных – 0,15-0,30; черноземах – 0,15-0,50; сероземах – 0,08-0,15 и каштановых почвах – 0,15-0,30 %. Естественные запасы азота в почве образованы большей частью в результате фиксации атмосферного азота симбиотическими и свободноживущими микроорганизмами. В почвах сельскохозяйственного назначения определенная часть содержащегося в них азота включает также азот внесенных ранее удобрений. Неоднородность природных и агротехнических условий обуславливает различия в интенсивности процессов азотонакопления, темпах минерализации органических соединений и трансформации различных форм азота в почвах. Различия в азотомобилизующей способности культур, в интенсивности процессов минерализации – иммобилизации, денитрификации и усвоения азота растениями в агроценозах зависят от генотипа культуры, химического состава растительных остатков поступающих в почву и режима азотного питания [3,6].

Азотный фонд почвы включает минеральные и органические соединения. Минеральные формы азота подразделяются на: 1) водорастворимые – нитраты, нитриты и соли аммония; 2) обменно-поглощенный аммоний; 3) необменно-поглощенный (фиксированный) аммоний, входящий в кристаллическую решетку глинистых минералов. Органические соединения этого элемента складываются из растительных и животных остатков, микробной биомассы, продуктов метаболизма почвенной фауны, а также гумуса. В их состав входят: амины и амиды, аминокислоты, простые и сложные белки, мочевины, хитин, мочевины и гиппуровые кислоты [7,8].

Неорганический азот почв представлен в форме газов (N_2 , N_2O , NO , NO_2 , NH_3) и ионов (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+). Газообразные соединения элемента, доля которых достигает 80 % почвенного воздуха, не имеют существенного значения в азотном балансе. Напротив,

азот в форме ионов активно участвует в биологическом круговороте, а отдельные его формы играют решающую роль в питании растений. В составе подвижного минерального азота, максимальное количество которого не превышает 1,5 % от общего содержания в почве, входят аммонийная обменная и нитратная формы. Нитритный азот, являясь промежуточным продуктом минерализации, как правило, не накапливается в почве в большом количестве и потому не имеет существенного значения в азотном балансе [1,2,9].

Содержание в почве минеральных форм азота, являющихся непосредственным источником азотного питания растений, зависит от гранулометрического состава, запасов гумуса и азота, условий минерализации органического вещества, степени окультуренности, а также от интенсивности потребления элемента растениями [13].

Необменный аммоний в почве встречается в трех формах: 1) аммоний в составе таранакита – кристаллического соединения фосфата аммония-оксида железа-оксида алюминия, образующегося из составных частей почвенного раствора; 2) аммоний, включенный в первичные силикатные минералы (слюды, полевые шпаты); 3) аммоний, находящийся в межпакетных пространствах кристаллической решетки трехслойных глинистых минералов (иллит, вермикулит, монтмориллонит). Закрепление аммонийного азота в твердой фазе почв препятствует его вымыванию, а также исключает возможность создания вредной для растений концентрации иона NH_4^+ в почвенном растворе при внесении аммиачных и аммонийных форм азотных удобрений. В результате фиксации аммония обеспечивается более продолжительное снабжение растений азотом в течение вегетации. Фиксированный аммоний удобрений можно рассматривать, следовательно, как резерв для питания растений. Содержание его в почве, как правило, значительно превышает сумму подвижных форм минерального азота и составляет в пахотном горизонте 3-10 % от общего азота. Абсолютные величины необменного аммония возрастают от дерново-подзолистых почв к черноземам [1,3,5].

Органическими соединениями азота представлено 85-95 % азотного фонда почвы. Они практически недоступны растениям без предварительной минерализации. Минерализации поддается не более 3 % органических соединений азота. Устойчивость органических соединений азота – положительное свойство почвы, позволяющее консервировать элемент и тем самым предотвращать его потерю [1,7].

По степени гидролизуемости органические азотсодержащие соединения делятся на три группы: 1) легкогидролизуемые (извлекаемый при обработке почвы 0,5 н H_2SO_4); 2) трудногидролизуемые (извлекаемый при обработке 5 н H_2SO_4); 3) негидролизуемый остаток.

Для оценки качественного состава азотного фонда почв предложен ряд оригинальных методов, основанных на последовательном кислотном гидролизе. В нашей стране наибольшее распространение получил метод Ф.К. Воробьева в модификации Э.И. Шконде и И.Е. Королевой. Этот метод позволяет получать данные об азоте, входящем в состав как специфических гумусовых веществ, так и неспецифических органических соединений: 1) минеральный (азот нитратов, нитритов и обменного аммония); 2) легкогидролизуемый (амиды, часть аминов и необменного аммония); 3) трудногидролизуемый (часть аминов, амидов, фиксированного аммония и гуминов); 4) негидролизуемый (большая часть аминов и гуминов, меланины битумов, остаток необменного аммония). В легко-, трудно и негидролизуемых фракциях органических соединений азота доля фиксированного аммония составляет соответственно 25-30 %, 40-50 % и 25-30 % от его суммарного содержания в почве [11,12].

Общие запасы азота и его органических соединений характеризуют потенциальное плодородие почв, но они не всегда служат определяющим фактором эффективного плодородия. Агрохимиков интересуют, прежде всего, те формы азота почвы, которые непосредственно потребляются растением или могут быть использованы в течение вегетационного периода после перевода их в доступную форму.

К органическим соединениям азота, составляющим ближайший резерв для минерализации, относятся его легкогидролизуемая фракция, так называемый «молодой гумус». Она наиболее мобильна: количество азота этой фракции изменяется при внесении минеральных удобрений и окультуривании почв. Доступность растениям азота этой фракции определяется микробиологической активностью почвы. Минерализации, как правило, подвергается лишь около $\frac{1}{10}$ азота легкогидролизуемой фракции, остальное количество стабильно удерживается в органической форме. В состав легкогидролизуемой фракции, наряду с мобильными соединениями азота фульвокислот (1а фракция), включаются его соединения, входящие в первые фракции фульвокислот и частично гуминовых кислот [1,12].

В трудногидролизуемой фракции азот находится в составе аминов, амидов, необменного аммония и гуминов. К ним, прежде всего, относятся собственно гумусовые вещества, содержащие азот как в ароматическом ядре, где он чрезвычайно прочно связан, так и в периферических цепочках молекул, в которых большую роль играют аминокислоты, азот которых хотя и относительно мобилен, но составляет небольшую часть азота почвенного гумуса [2,4,7].

Суммарное содержание азота в легко- и трудногидролизуемых соединениях представляет собой источник пополнения запасов его минеральных форм. Сумма гидролизуемых форм в пахотном слое почвы составляет, как правило, 15-20 % общего азота. Состав и свойства этих форм зависят от соотношения легко- и трудногидролизуемых фракций.

Фракция негидролизуемого азота, представленная более стойкими к гидролизу (не поддается гидролизу 5 н H_2SO_4) и микробиологическому разложению органическими соединениями (гуминовые кислоты и фульвокислоты прочно связанные с малоподвижными полуторными оксидами кальция [II фракция], гумины) и фиксированным аммонием, составляет большую часть азотного фонда почвы. Относительное количество азота негидролизуемых соединений несколько изменяется в зависимости от гранулометрического состава и степени гидроморфности почв. Однако абсолютные размеры этой фракции тесно связаны с изменением степени увлажнения почвы и содержания в них азота общего [6].

Всестороннее изучение азотного фонда почвы является научной базой для эффективного использования азотных удобрений в агроценозах и получения экологически безопасной продукции.

До закладки стационарного опыта содержание азота общего в слое почвы 0-20 см и 21-40 см составляло соответственно 2400 и 2000 мг/кг (таблица 13). После завершения третьей ротации севооборота в почве варианта без внесения удобрений отмечено снижение количества азота соответственно до 2250 и 1900 мг/кг. Это обусловлено выносом с урожаем сельскохозяйственных культур, потерями в газообразной форме вследствие денитрификации и вымыванием нитратного азота выпадающими атмосферными осадками.

Таблица 13 – Содержание азота общего в черноземе выщелоченном при длительном применении минеральных удобрений, мг/кг почвы

Слой почвы, см	Исходное содержание	После трех ротаций севооборота	
		без удобрений	N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀
0–20	2400	2250	2600
21–40	2000	1900	2250

Систематическое применение минеральных удобрений под культурами севооборота привело к повышению содержания азота общего в почве. Так, в 0–20 см слое почвы количество его возросло на 200 мг/кг, или на 8,3 % по сравнению с исходным содержанием. Это можно объяснить неполным использованием растениями азота, закреплением части внесенного азота в почве, а также большим накоплением в почве пожнивных и корневых остатков под воздействием вносимых удобрений. Положительное влияние удобрений на содержание азота общего имело место и в подпахотном 21–40 см слое почвы. Здесь его количество возросло на 250 мг/кг или 12,5 %, по всей вероятности, вследствие перераспределения его с помощью корней и вымывания части минерального азота из пахотного слоя почвы.

Из общего количества азота, содержащегося в пахотном слое почвы, на долю минеральных форм приходится 7,3 % и органических соединений – 92,7 %; в подпахотном – соответственно 7,8 и 92,2 % (таблица 14).

Таблица 14 – Содержание минерального и органического азота в черноземе выщелоченном при длительном применении минеральных удобрений

Вариант	Слой почвы, см	Азот			
		минеральный		органический	
		мг/кг	% от общего	мг/кг	% от общего
Без удобрений	0–20	164	7,3	2086	92,7
	21–40	149	7,8	1751	92,2
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0–20	240	9,2	2360	90,8
	21–40	217	9,6	2033	90,4

Под влиянием вносимых удобрений это соотношение изменяется: увеличивается доля минерального азота и уменьшается – органического. В пахотном слое доля минеральных форм стала на 1,9 % больше, а в подпахотном – 1,8 %, чем на неудобренном варианте. Увеличение в азотном фонде чернозема выщелоченного доли его минеральных форм подтверждается и ранее проведенными исследованиями [11].

Таким образом, основная часть азота чернозема выщелоченного приходится на органические соединения. С глубиной их содержание, как правило, снижается. Внесение минеральных удобрений под культуры севооборота повышает абсолютное содержание азота органических соединений, как в пахотном, так и подпахотном слоях почвы. Однако доля органических соединений в общем азоте почвы при внесении удобрений несколько снижается.

В первый год исследований (до закладки полевого опыта) в пахотном слое почвы на долю легкогидролизуемого азота приходилось 2,5 %; трудногидролизуемого – 12,6 и негидролизуемого – 83,2 %; в подпахотном соответственно – 2,0 %, 11,5 и 84,6 % от общего его содержания (таблица 15).

Таблица 15 – Фракционный состав органических соединений азота чернозема выщелоченного при длительном применении минеральных удобрений, мг/кг почвы

Вариант	Слой почвы, см	Фракция органических соединений		
		легкогидролизуемая	трудногидролизуемая	негидролизуемая
До освоения севооборота	0–20	60	302	1996
	21–40	40	230	1691
После трех ротаций севооборота				
Без удобрений	0–20	38	261	1787
	21–40	37	182	1532
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0–20	62	310	1988
	21–40	46	254	1733

Общее количество гидролизуемого азота в верхнем 0-20 см слое чернозема выщелоченного составляет всего лишь 15,1 % от азотного фонда почвы. Преобладающая часть азота органических соединений – 83,2 % от общего его содержания в почве представ-

лена весьма стойкими соединениями, которые практически не участвуют в биологическом круговороте и не имеют агрономического значения. С глубиной количество гидролизуемого азота в почве уменьшается. Так, в слое 21-40 см легкогидролизуемая фракция была на 0,5 % и трудногидролизуемая – 1,1 % меньше, чем в пахотном слое почвы.

Длительное возделывание сельскохозяйственных культур без внесения удобрений ведет к постепенному снижению содержания всех фракций органических соединений азота. Это имеет место как в пахотном, так и подпахотном слоях почвы. Так, после завершения третьей ротации севооборота доля фракций легкогидролизуемого, трудногидролизуемого и негидролизуемого азота в общем азотном фонде почвы снизилась в пахотном слое соответственно на 0,8 %, 1,0 и 3,8 %; в подпахотном слое – 0,1 %, 1,2 и 4,0 %.

За три ротации севооборота вносимые на посевах сельскохозяйственных культур удобрения способствовали увеличению абсолютного содержания в пахотном слое почвы азота органических соединений легко- и трудногидролизуемой фракций, но не оказали влияния на количество негидролизуемой. Очевидно, что остаточный азот удобрений прежде всего накапливается в легко- и трудногидролизуемых фракциях. В то же время доля легкогидролизуемых соединений в общем азоте почвы не претерпевает существенных изменений, а трудногидролизуемых и, особенно, негидролизуемых органических соединений снижается. Это свидетельствует о более интенсивной минерализации фракции негидролизуемого азота под воздействием удобрений.

А.П. Щербаков и И.Д. Рудай [13] для чернозема выщелоченного Центрального Черноземья оптимальными считают следующие соотношения фракций органических соединений азота в пахотном слое: легкогидролизуемого 6-8 %; трудногидролизуемого 13-17 % и негидролизуемого 74-80 % от общего азота. Следовательно, распределение фракций органических соединений азота в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в агрохимическом отношении неблагоприятно. Основная часть азотного фонда в пахотном 0-20 см слое почвы 76,5-83,2 % приходится на долю негидролизуемого и только 11,6-12,6 % на трудногидролизуемый азот. При этом легкогидролизуемая фракция, которая служит первоисточником пополнения запасов минеральных его форм, составляет всего лишь

1,7-2,5 %. Отмеченная закономерность объясняет и тот факт, что в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья, обладающем высоким запасом общего азота, для растений в первом минимуме среди элементов питания находится азот.

С точки зрения питания растений наибольший интерес представляет минеральный азот. Количество подвижных минеральных форм – нитратов, нитритов и обменно-поглощенного аммония невелико. В пахотном слое неудобренного варианта оно составляет 1,5 % от общего азота (таблица 16).

Таблица 16 – Содержание минеральных форм азота в черноземе выщелоченном при длительном применении удобрений, мг/кг почвы

Вариант	Слой почвы, см	Азот			
		нитратный	нитритный	аммонийный	
				обменно-поглощенный	фиксированный
Без удобрений	0–20	22	0,06	12	130
	21–40	20	0,08	11	118
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0–20	30	0,10	16	194
	21–40	28	0,15	15	174

Основной формой подвижного азота в черноземе выщелоченном является нитратная, которая в общей сумме минерального азота составляет 13,4 %. За ней, по значимости для питания растений, следует азот обменно-поглощенного аммония. Доля его в общей сумме минерального азота в пахотном слое почвы составляет 7,3 %. Содержание нитритов в почве не превышает тысячных долей процента, а, следовательно, они не имеют никакого практического значения для питания растений.

Определение содержания фиксированного аммония в черноземе выщелоченном показало, что почва характеризуется довольно высокой фиксирующей способностью по отношению к аммонiu. Так, содержание необменного аммония в пахотном 0-20 см и подпахотном 21-40 см слоях почвы составляет 5,8 и 6,2 % от общего содержания азота и 79,3 и 79,2 % от суммы минеральных форм. При длительном внесении минеральных удобрений содержание фиксированного аммония в черноземе выщелоченном возрастает.

Причем данное явление имеет место, как для пахотного, так и для подпахотного слоя почвы [12,13].

Выводы. Возделывание сельскохозяйственных культур без внесения удобрений ведет к постепенному снижению содержания азота общего в черноземе выщелоченном. Применение минеральных азотных удобрений позволяет не только стабилизировать запасы азота почвы, но и постепенно их увеличивать. Под влиянием системы удобрений севооборота изменяется не только количество общего азота в почве, но также качественный состав его соединений в сторону увеличения содержания минеральных форм и гидролизующих органических соединений. Учитывая, что азот является тем биогенным элементом, трансформация которого в почве всецело определяется микробиологическими процессами, мероприятия по улучшению азотного режима должны быть, прежде всего, направлены на повышение биологической активности почвы и поиск путей снижения его непроизводительного расхода из почвы и удобрений. Эффективность азотных удобрений есть следствие комплекса непрерывных циклических превращений азота в почве, отражающихся на уровне снабжения растений азотом. Обеспечение бездефицитного баланса азота в агроценозе будет способствовать, с одной стороны, повышению эффективности удобрений, с другой – экологически безопасному их применению.

Литература

1. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах / Г.П. Гамзиков. – Новосибирск: Новосибирский ГАУ, 2013. – 790 с.
2. Завалин А.А. Потоки азота в агроэко системе: от идей Д.Н. Прянишниковой до наших дней / А.А. Завалин, О.А. Соколов. – М.: ВНИИА, 2016. – 591 с.
3. Кидин В.В. Основы питания растений и применения удобрений / В.В. Кидин. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2008. – 415 с.
4. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений / Д.А. Кореньков – М., 1999. – 296 с.
5. Кудеяров В.Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений / В.Н. Кудеяров. – М.: Наука, 1989. – 216 с.
6. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т.Н. Кулаковская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 219 с.
7. Осипов А.И. Роль азота в плодородии почв и питании растений / А.И. Осипов, О.А. Соколов. – СПб, 2001. – 360 с.

8. Сапожников Н.А. Баланс азота в земледелии Нечерноземной полосы и основные пути улучшения азотного питания культурных растений / Н.А. Сапожников // Азот в земледелии нечерноземной полосы. – Л.: Колос, 1973. С. 5-33.

9. Сычев В.Г. Роль азота в интенсификации продуктивного процесса сельскохозяйственных культур. Том 1. / В.Г. Сычев, О.А. Орлов, Н.Я. Шмырева. – М.: ВНИИА, 2009. – 424 с.

10. Шеуджен А.Х. Агрохимические основы применения удобрений / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2013. – 572 с.

11. Шеуджен А.Х. Азотный режим чернозема выщелоченного Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, Т.Н. Бондарева, О.А. Гудорова // Тр. КубГАУ. 2014. № 1(46). С. 114-120.

12. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.

13. Щербаков А.П. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ / А.П. Щербаков, И.Д. Рудай. – М.: Колос, 1983. – 189 с.

7.1.2 Фосфор

Изучение отдельных форм фосфатов может, с одной стороны, способствовать более глубокому выяснению процессов выветривания минеральной части почв, а с другой, выявлять первичные и новообразующиеся формы фосфатов, связанные с внесением фосфорных удобрений. Последнее имеет большое значение для решения вопросов повышения эффективности фосфорных удобрений.

У Мью Тхант, 1968

Фосфор – «элемент жизни и мысли». Он будет нужен всегда, и это необходимо иметь в виду как сегодня, так и в будущем. Кларк этого элемента в земной коре равен 0,12 %, литосфере – $8 \cdot 10^{-2}$, водах Мирового океана – $5 \cdot 10^{-6}$, почве – $8 \cdot 10^{-2}$, растениях – $7 \cdot 10^{-2}$ %; биофильность – $7,5 \cdot 10^0$, талассофильность – $6 \cdot 10^{-4}$, технофильность – $2 \cdot 10^8$.

Проблема фосфора в земледелии определяется исключительной значимостью этого элемента в питании растений, обеспеченность которым приятно считать одним из основных показателей окультуренности почв. При этом не существует естественных путей возобновления его запасов в почве. Д.Н. Прянишников [10], подчеркивая «индивидуальность» агробиогеохимического цикла фосфора, писал: «В то время как в случае азота мы имеем дело с элементом, в круговорот которого в земледелии вовлекается азот атмосферы, и поэтому возможно обогащение почвы за счет азота воздуха и без внесения удобрений, в случае фосфора имеет место односторонний процесс отчуждения его из почвы урожаями, которому мы можем противодействовать только внесением удобрений».

Биологический круговорот фосфора в почвах связан со сложным взаимодействием химических, физических, физико-химических, биохимических процессов и зависит от типа почвообразования, экологических условий и антропогенных факторов [18,19]. Фосфор уникален по количеству различных форм его соединений в почве. Общие запасы фосфора в почве и соотношение его минеральных и органических форм, способных к мобилизации и, прежде всего, доступных для питания растений, определяет фосфатное состоя-

ние и уровень плодородия почв [1,6,16]. Валовое содержание фосфора в черноземах колеблется в пределах 0,15-0,35 %. Оно коррелирует в основном с его количеством в почвообразующей породе и в меньшей степени – с гумусированностью почв [2,3,4].

Органические соединения фосфора почвы представлены двумя различными по природе группами: продуктами биологического синтеза (соединения индивидуальной природы, неспецифические органофосфаты) и гумусообразования (специфические соединения) [7,12,13]. В связи с этим уровень аккумуляции фосфора органическими соединениями в почве определяется как накоплением органического вещества в целом, так и разной обогащенностью его этим элементом. Доля органофосфатов в почвах колеблется в пределах 10-80 % от валового его содержания; в черноземах – 30-70 %. Содержание их в почвах контролируется совокупностью факторов, влияющих на минерализацию органического вещества: биологическая активность почвы, устойчивость органофосфатов к минерализации, доступность растениям минеральных соединений фосфора. Органофосфаты являются резервом доступного растениям форм фосфора [7,8,22].

Содержание минеральных форм соединений фосфора в почве обусловлено в основном минералогическим ее составом и типом почвообразовательного процесса. Выделено и идентифицировано свыше 200 различных минеральных соединений этого элемента, содержащихся в почвах. Главным образом это соединения ортофосфорной кислоты с ионами Ca, Mg, Fe, Al, Mn и Ti. Фосфаты кальция наиболее устойчивы в условиях щелочной или близкой к нейтральной реакции среды, и растворимость этих соединений возрастает с ее подкислением. Фосфаты алюминия и железа, наоборот, более устойчивы в кислой среде, при подщелачивании переход в почвенный раствор содержащегося в них фосфора увеличивается [3,14,20].

Для определения группового состава фосфатов используется несколько агрохимических методов. Наиболее распространена в нашей стране методика, предложенная В.Ф. Чириковым. Сущность метода заключается в обработке навесок почвы разными растворителями: 0,005 н H_2CO_3 , 0,5 н CH_3COOH , 0,5 н HCl , 3 н NH_4OH . Это позволяет выделить и количественно учесть содержание в ней пяти групп фосфатов, в разной степени доступных растениям: I – легкорастворимые, определяют по содержанию фосфора в углекислой

вытяжке; II- резервные, представляют собой разность между содержанием в уксуснокислой и углекислой вытяжках; III – труднодоступные, вычисляют по разности между содержанием фосфора в солянокислой и уксуснокислой вытяжках; IV – органофосфаты, экстрагируются аммиачной вытяжкой; V- нерастворимые (недоступные), рассчитывают по разности между содержанием валового фосфора почвы и суммой фосфатов, перешедших в солянокислую и аммиачную вытяжки [4,12]. Для фракционирования минеральных фосфатов почвы используют методы Чанга-Джексона и Гинзбург-Лебедевой в модификации Неговелова-Пестовой. Метод Чанга-Джексона является мировым стандартом при определении фракционного состава минеральных фосфатов почвы. Основан на последовательной обработке одной и той же навески почвы различными по составу экстрагирующими растворами, каждый из которых извлекает определенные фракции минеральных фосфатов почвы – рыхлосвязанные фосфаты (растворитель 1 н NH_4Cl), фосфаты алюминия (0,5 н NH_4F , pH 8,5), фосфаты железа (0,1 н NaOH), фосфаты кальция (0,5 н H_2SO_4), восстановлено-растворимые фосфаты железа (окклюдируемые оксидами железа) (0,3 н $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ + 1 н NaHCO_3 + 1 н $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$), окклюдируемые фосфаты алюминия (0,5 н NH_4F , pH 8,5), окклюдируемые фосфаты железа и алюминия (0,1 н NaOH).

Метод Гинзбург-Лебедевой является дальнейшим развитием методики Чанга-Джексона, в котором без изменения остались 2-й, 3-й и 4-й извлекающие растворы. Первый раствор заменен двумя другими –1% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + 0,25% $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ с pH 4,8 (аммоний-молибденовая вытяжка) для извлечения фракции Ca-P₁ и CH_3COOH + $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ + 0,25% $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ с pH 4,2 (ацетатно-молибденовая) для экстрагирования фракции Ca-P₂ [3]. При определении фосфора в молибдатных вытяжках С.Ф. Неговелов и Н.Г. Пестова рекомендуют устранять влияние SiO_2 . Пренебрежение этой поправкой приводит к неверной оценке обеспеченности растений фосфором, т. к. содержание доступного фосфора в почве оказывается завышенным [8]. Метод Гинзбург-Лебедевой в модификации Неговелова-Пестовой позволяет с большой точностью выделить три фракции фосфатов кальция (магния), различающихся по своей основности и степени окристаллизованности, а, следовательно, по растворимости и усвояемости растениями. Использование аммоний-молибденовых вытяжек позволяет в значительной степени предотвратить переосаждение извлеченных фосфатов ком-

понентами твердой фазы почвы и экстрагирующего раствора за счет образования фосфорно-молибденовой гетерополиоксидной кислоты.

Содержание фосфора и соотношение форм его соединений в почве отражают характер почвообразовательного процесса и дают ценные сведения о наличии в ней доступного для растений элемента, но не объясняют природу динамики фосфатов. Для выявления причин различной подвижности фосфатов в почвах, отличающихся агрохимическими, физическими и физико-химическими свойствами, используют методы, основанные на законах кинетики и термодинамики химических реакций [5,17].

Наиболее полно фосфорный режим почвы может быть охарактеризован количеством подвижных фосфатов («емкость»), степенью их подвижности («интенсивность») и буферностью («устойчивость»). «Интенсивность» выражается концентрацией фосфора в почвенном растворе в слабо солевых и водных вытяжках, или фосфатным потенциалом [2,5].

Фосфатный потенциал почвы, определение которого основано на главном принципе термодинамики, характеризует способность почвы отдавать фосфаты в раствор, и показывает интенсивность перехода фосфат-ионов из твердой фазы почвы в раствор. Он не является абсолютным показателем содержания растворимых фосфатов в почве, но дает им определенную качественную оценку и служит показателем степени подвижности фосфатов. Величина фосфатного потенциала представляет собой сумму химических потенциалов ионов Ca^{2+} и H_2PO_4^- , а при высоких значениях pH – и HPO_4^{2-} . Выражая величину потенциала этих ионов через их активность в растворе, в качестве меры фосфатного потенциала принимают сумму $0,5 p\text{Ca} + p(\text{H}_2\text{PO}_4 + 0,5 \text{HPO}_4)$, где $p\text{Ca}$, $p\text{H}_2\text{PO}_4$, $p\text{HPO}_4$ – отрицательные логарифмы активности ионов Ca^{2+} , H_2PO_4^- и HPO_4^{2-} в растворе. Величины $p\text{H}_2\text{PO}_4$ и $p\text{HPO}_4$ вычисляются с учетом pH среды и коэффициентов активности. При улучшении фосфатного состояния почвы значения фосфатного потенциала снижаются и наоборот. Критические значения этого показателя находятся в пределах 6,8-7,0 [4,9,21].

Валовое содержание фосфора характеризует фосфатную емкость почв и является одним из важнейших показателей их потенциального плодородия. Почвы с небольшим содержанием валового фосфора сравнительно труднее освобождают его из твердой фазы в жидкую и слабее удерживают фосфор удобрений. Как показали исследования, выщелоченный чернозем обладает значительными

потенциальными возможностями в отношении обеспечения растений фосфором (таблица 17).

Таблица 17 – Содержание валового фосфора и форм его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Фосфор			
		валовой	минеральный	органический	неизвлекаемый
До освоения севооборота	0–20	1541	430	610	501
	21–40	1458	365	560	533
После трех ротаций севооборота					
Без удобрений	0–20	1499	415	585	499
	21–40	1393	350	515	528
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0–20	1646	565	670	431
	21–40	1493	425	595	473

До закладки полевого стационарного опыта в пахотном 0–20 см слое почвы содержалось 1541 мг/кг валового фосфора; в подпахотном 21–40 см слое – на 5,4 % меньше. Такое распределение естественных запасов элемента характерно для почв дернового процесса почвообразования.

Валовой фосфор чернозема выщелоченного в пахотном слое на 39,6 % представлен органофосфатами, в подпахотном слое их несколько меньше – 38,4 %. Органические формы – важный источник фосфора для питания растений, т. к. при их минерализации этот элемент высвобождается и частично используется растениями. Высокое содержание органофосфатов, с одной стороны, указывает на низкую обеспеченность растений фосфором, а с другой, – на большие запасы элемента в почве, т. к. в процессе минерализации происходит постепенный их переход в доступные формы.

Непосредственным источником фосфора для питания растений служат его минеральные формы. Исходное содержание минерального фосфора в 0-20 см слое почвы составляло 27,9 %, в 21–40 см – 25,0 % от валового количества. Доля минеральных соединений в общем фосфорном фонде – величина относительно постоянная, поэтому сокращение валового содержания этого элемента сопровождается уменьшением количества его минеральных форм.

Неизвлекаемый экстрагирующими растворами или остаточный фосфор почвы представлен в основном фосфатами невывет-

рившихся минералов почвообразующей породы и частично фосфатами прочно фиксированных глинистыми минералами, а в пахотном более гумусированном слое в эту фракцию возможно включение некоторого количества органофосфатов. В исходной почве доля остаточного фосфора в пахотном слое составляла 32,5 %, в подпахотном – 36,6 % от валового его содержания. Это указывает на консервацию фосфора в подпахотном слое почвы и более интенсивную трансформацию его соединений в пахотном слое.

Следствием агрогенеза стало изменение фосфатного состояния чернозема выщелоченного. На варианте без внесения удобрений содержание валового фосфора в пахотном слое почвы снизилось на 2,7 %, подпахотном – 4,5 %. Произошло это преимущественно за счет уменьшения доли органофосфатов, нежели минеральных его соединений. Изменение содержания неизвлекаемого экстрагирующими растворами фосфора количественно менее выражено.

Применяемая система удобрения сельскохозяйственных культур за три ротации севооборота позволила повысить валовое содержание фосфора в 0–20 и 21–40 см слоях почвы соответственно на 6,8 и 2,4 %. Удобрения оказывали положительное влияние на увеличение содержания органофосфатов в почве. Это обусловлено, главным образом, значительным повышением микробиологической активности почвы и увеличением количества растительных остатков вследствие роста биологической продуктивности культур севооборота под воздействием вносимых удобрений, что приводит к интенсивному биологическому поглощению фосфора [7]. Речь в данном случае идет преимущественно о повышении абсолютного содержания органических фосфатов; относительное их количество увеличивалось незначительно. Это связано с тем, что применение удобрений в большей мере способствует увеличению содержания в почве минеральных соединений фосфора, чем его органических форм. Неиспользованный растениями фосфор удобрений сосредотачивается в зоне их внесения, т. е. пахотном слое почвы.

Минеральные удобрения способствовали более интенсивному вовлечению в агробиогехимический цикл «нерастворимых» фосфатов. Под действием удобрений их абсолютное содержание в почве заметно снижалось, это свидетельствует об усилении процесса выветривания фосфорсодержащих минералов и разрушении прочно связанных фосфатов почвы. Обратная связь «нераствори-

мых» фосфатов и органофосфатов в почве свидетельствует о том, что одним из агентов, разрушающих наиболее прочные соединения фосфатов, являются почвенная биота и органические кислоты [20].

Эффективное плодородие почвы определяется не столько общим запасом фосфора, сколько подвижными формами его соединений, являющимися основными источниками элемента для питания растений.

Данные анализа группового состава фосфора свидетельствуют, что перед закладкой стационарного опыта почва содержала небольшое количество наиболее подвижных легкодоступных растением фосфатов I группы (водорастворимые фосфаты). В пахотном слое их количество составляло всего лишь 1,5 %, а в подпахотном еще меньше – 0,7 % от валового фосфора. После трех ротаций севооборота в варианте без удобрений отмечено уменьшение доли фосфатов I группы в фосфорном фонде почвы: в пахотном и подпахотном слоях их количество снизилось соответственно на 6,0 и 3,5 мг/кг по сравнению с исходным содержанием (таблица 18).

Таблица 18 – Групповой состав фосфатов в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Группа фосфатов				
		I	II	III	IV	V
		0,05 н H ₂ CO ₃	0,5 н CH ₃ COOH	0,5 н HCl	3,0 н NH ₄ OH	нераст ворим ый
До освоения севооборота	0-20	22,5	158,0	325,2	630,0	405,3
	21-40	10,5	156,4	286,6	520,0	485,0
После трех ротаций севооборота						
Без удобрений	0-20	16,5	138,0	324,0	620,5	400,0
	21-40	7,0	132,8	280,2	516,6	456,4
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	32,0	174,5	360,5	701,0	378,0
	21-40	14,5	168,5	300,8	602,5	406,7

Чернозем выщелоченный содержит достаточно большое количество фосфатов II группы (щелочоземельные фосфаты). Однако их доля в фосфорном фонде почвы невелика: в 0–20 и 21–40 см слоях почвы до закладки опыта – составляла соответственно 10,2 и 10,7 %. За три ротации севооборота она уменьшилась до 9,2 и 9,5 % в пахотном и подпахотном слоях почвы соответственно, или на 20,0 и 23,6 мг/кг по сравнению с их исходным содержанием.

Таким образом, до закладки эксперимента в пахотном и подпахотном слоях почвы опытного участка, представленного черноземом выщелоченным, содержалось равное количество легкоподвижных фосфатов (I+II группа) – соответственно 11,7 и 11,4 % от валового количества. Возделывание сельскохозяйственных культур без внесения удобрений привело к снижению их содержания в почве. После трех ротаций севооборота их доля в валовом фосфоре снизилась до 10,3 и 10,0 % соответственно.

Выращивание культур севооборота без применения удобрений не оказало влияния на содержание фосфатов III группы (трудноусвояемая растениями слаборастворимая форма соединений фосфора, преимущественно с полуторными оксидами). До закладки опыта на эту фракцию приходилось 21,1 и 19,8 % от валового фосфора, а после трех ротаций севооборота – 21,6 и 20,1 % соответственно в пахотном и подпахотном слое почвы. Это подтверждает, что фосфаты III группы являются устойчивой формой в условиях агрогенеза. Преобладание трудноусвояемой III группы фосфатов над легкоусвояемыми (I + II группы) в общем фосфорном фонде почвы свидетельствует о неблагоприятном для питания растений фосфорном режиме чернозема выщелоченного.

Основная часть фосфора в почве представлена фосфатами IV группы (органوفосфаты), составляющими в пахотном слое 40,9-41,1 %, подпахотном – 35,7-37,1 % от валового фосфора. Фосфор органических соединений в значительной своей части связан с аккумулятивной составляющей почвообразовательного процесса. Включение его в органические соединения происходит преимущественно под влиянием живых организмов в отличие от фосфатов группы I, II и III, представленных минеральными соединениями, образование которых обусловлено химическими реакциями [11,12]. После трех ротаций зерно-травяно-пропашного севооборота относительная доля фосфатов IV группы в общем фосфорном фонде почвы несколько возросла, хотя абсолютное содержание их уменьшилось. Эта тенденция характерна как для пахотного, так и подпахотного слоя.

Фосфаты V группы («нерастворимые») в черноземе выщелоченном обнаруживаются в значительных количествах. Эта группа фосфатов, состоящая в основном из невыветрившихся минералов материнской породы, недоступна для питания растений. Доля фосфатов V группы в пахотном слое почвы до закладки опыта состав-

ляла 26,3 %, подпахотном – 33,3 % от валового фосфора. Возделывание сельскохозяйственных культур в севообороте без внесения удобрений практически не отразилось на содержании «нерастворимых» фосфатов, что подтверждает их инертность и недоступность для питания растений.

Групповой состав фосфатов, являясь одним из важнейших химических показателей состояния почвы, находится под влиянием антропогенных факторов. Аналитические данные показывают существенные количественные изменения всех пяти групп фосфатов под воздействием системы удобрения. Так, содержание фосфатов I, II, III, IV групп в пахотном слое почвы увеличилось на 9,5; 16,5; 35,3; 71,0 мг/кг и в подпахотном – 4,0; 12,1; 14,2; 85,5 мг/кг, а количество фосфатов V группы – уменьшилось, соответственно на 107,0 и 78,3 мг/кг.

Более детальную характеристику количественного состава фосфорного фонда почвы дает фракционный состав минеральных фосфатов – непосредственных источников фосфора для питания растений. Фракционирование минеральных фосфатов позволяет разделить их на соединения, различающиеся по степени подвижности и усвояемости растениями.

По абсолютному содержанию в почве фракции минеральных фосфатов располагаются в следующий возрастающий ряд: Ca-P₁ < Al-P < Ca-P₂ < Fe-P < Ca-P₃. Содержание в пахотном слое почвы растворимой фракции минеральных фосфатов Ca-P₁, представляющей наибольшую ценность для питания растений, составляет всего лишь 9,8 %, а в подпахотном – 8,2 % от общего количества минеральных фосфатов (таблица 19).

Таблица 19 – Фракционный состав минеральных фосфатов чернозема выщелоченного, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Фракция фосфора				
		Ca-P ₁	Ca-P ₂	Al-P	Fe-P	Ca-P ₃
До освоения севооборота	0-20	42	70	60	122	136
	21-40	30	68	44	79	144
После трех ротаций севооборота						
Без удобрений	0-20	36	64	59	121	135
	21-40	24	63	43	77	143
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	65	95	78	145	182
	21-40	40	88	62	90	145

На долю основной фракции подвижных фосфатов (Ca-P_2), являющейся ближайшим резервом для питания растений в пахотном и подпахотном слоях почвы, до закладки опыта приходилось 16,3 и 18,3 % от суммы минеральных фосфатов. Возделывание сельскохозяйственных культур без внесения удобрений обусловило снижение их количества соответственно на 0,9 и 0,6 %.

Исходное содержание фосфатов полуторных оксидов (Al-P и Fe-P) и наиболее устойчивой фракции высокоосновных фосфатов кальция (Ca-P_3) в пахотном слое чернозема выщелоченного составляло 60, 122 и 136 мг/кг, подпахотном – 44, 79 и 144 мг/кг. За три ротации севооборота абсолютное содержание в почве этих фракций стабилизировалось и осталось примерно на одном уровне, а относительное количество даже несколько возросло.

При систематическом применении фосфорных удобрений в севообороте увеличивается абсолютное содержание в почве минеральных фосфатов всех фракций. Однако трансформация фосфора удобрений и высвобожденных под их влиянием из неактивных (восстановлено растворимых и окклюдированных) соединений этого элемента происходит в основном в сторону образования фосфатов щелочных и щелочноземельных катионов (Ca-P_1), а также разноосновных фосфатов кальция (Ca-P_2). Хотя абсолютное содержание в почве фосфатов полуторных оксидов (Al-P и Fe-P) и высокоосновных фосфатов кальция (Ca-P_3) на фоне удобрений заметно выросло, но относительное количество их осталось без изменений или несколько уменьшилось. Таким образом, даже при длительном систематическом применении удобрений в севообороте на черноземе выщелоченном не происходит существенной трансформации их в труднорастворимые соединения.

Одним из наиболее важных вопросов агрохимии фосфора, имеющих как теоретическое, так и практическое значение, является изучение трансформации фосфора удобрений в почве. При этом особый интерес представляют кинетика и статика сорбции фосфат-ионов твердой фазой почвы. Показателем фосфатного состояния почвы является равновесная концентрация фосфора, когда почва не адсорбирует его и не десорбирует в почвенный раствор. Результаты исследований показали, что при низких концентрациях фосфора в растворе он быстро поглощается твердой фазой почвы и сорбционное равновесие устанавливается в течение первого часа их взаимодействия (таблица 20; [11]).

Таблица 20 – Кинетика сорбции фосфора черноземом выщелоченным, % от внесенного удобрения

Время взаимодействия	Концентрация фосфора		
	0,01 М	0,1 М	0,5 М
1 мин	91	79	53
30 мин	100	84	74
1 ч	98	90	76
12 ч	96	79	92
1 сут.	89	78	69
3 сут.	88	80	75
5 сут.	87	84	78
8 сут.	86	82	74

При увеличении концентрации фосфора в растворе до 0,5 М сорбционное равновесие устанавливается позже – на 3-4 сутки после взаимодействия.

Для практики применения фосфорных удобрений важно знать, в какие соединения переходит внесенный фосфор в почве, и их доступность для растений. Определение группового состава фосфатов показало, что при низких концентрациях раствора в первые минуты взаимодействия удобрения с почвой обнаруживается наибольшее за время проведения эксперимента количество фосфатов I и II групп, хорошо доступных для питания растений, и составляет 55-75 % (рисунок 4; [11]). На 2-3 сутки взаимодействия почвы и удобрения их количество изменяется до 35-45 % и стабилизируется на этом уровне. Количество фосфатов III, IV и V групп в первые часы взаимодействия возрастают, а после 2-3 суток – стабилизируется. Такая же закономерность наблюдается и при увеличении концентрации фосфора в растворе до 0,5 М. Однако следует отметить, что при сохранившейся динамике фосфатов I и II групп, их доля была больше, чем при низких концентрациях раствора, и составила 60-65 % от всего поглощенного почвой фосфора; соответственно уменьшилась доля труднорастворимых.

Результаты определения фракционного состава минеральных фосфатов подтверждают изменение их группового состава (рисунок 5; [11]).

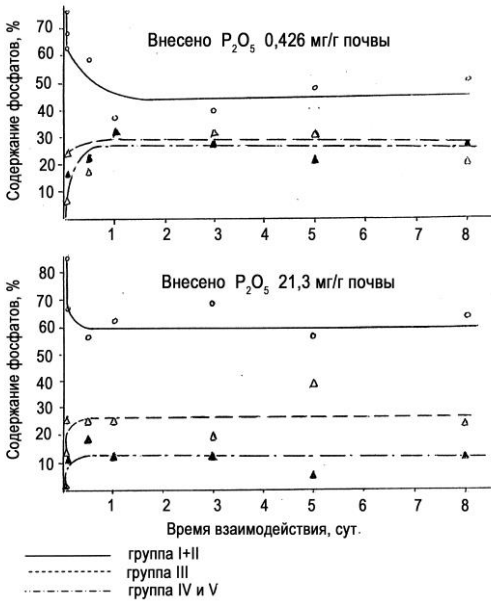


Рисунок 4 – Изменение группового состава фосфатов в черноземе выщелоченном в зависимости от дозы фосфора и времени его взаимодействия с почвой, % от поглощенного количества

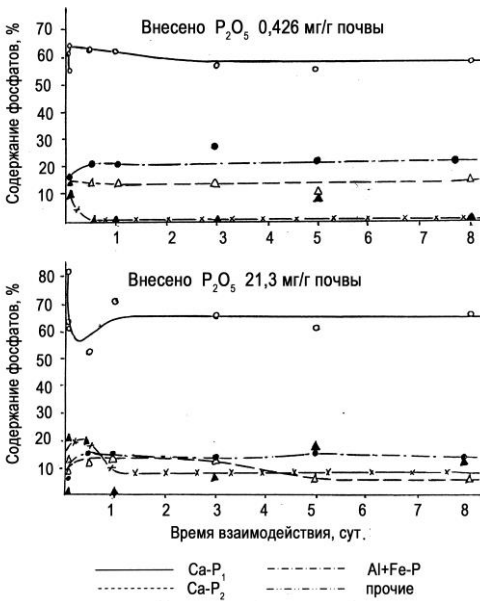


Рисунок 5 – Изменение фракционного состава минеральных фосфатов в черноземе выщелоченном в зависимости от дозы фосфора и времени его взаимодействия с почвой, % от поглощенного количества

Основная часть поглощенного твердой фазой почвы фосфора представлена одноосновными фосфатами, их доля составляла при низких концентрациях раствора до 45-68 % от всего поглощенного фосфора. Фосфаты алюминия и железа образовывались с первых минут взаимодействия удобрения с почвой. Их содержание в сумме составляло около 30 % от всего поглощенного фосфора. Количество фосфатов алюминия несколько превышало содержание фосфатов железа.

Повышение концентрации фосфора в растворе способствовало образованию хорошо растворимых фосфатов, даже с увеличением продолжительности взаимодействия почвы и удобрения. Доля одноосновных фосфатов увеличилась до 60-72 % от всех поглощенных фосфатов. Абсолютное содержание фосфатов железа и алюминия возросло, а относительное уменьшилось до 15-20 %. Присутствие высокоосновных фосфатов кальция (Ca-P_3) было незначительным во всех случаях взаимодействия и составляло около 1 % от всех фосфатов.

При увеличении концентрации фосфора в растворе отмечается возрастание поглощения его почвой (таблица 21; [11]). Наибольшее поглощение фосфора отмечено при 1,5 М концентрации его в растворе и достигало 56,85 мг/г почвы. Характер сорбции позволяет сказать, что данная величина не является предельной, чернозем выщелоченный может поглощать большее количество фосфора.

Таблица 21 – Статика сорбции фосфора удобрения черноземом выщелоченным

Внесено P_2O_5 , мг/г почвы	Количество поглощенного фосфора	
	мг/г	%
0,426	0,426	100
0,852	0,852	100
2,130	2,130	100
2,962	2,982	100
4,260	4,060	95
8,520	8,520	100
21,300	17,900	84
29,820	26,730	90
42,600	35,210	83
51,120	42,440	83
63,900	56,850	89
НСР ₀₅	2,144	

Результаты показывают, что при концентрации фосфора 0,5 М и выше (21,3 мг P_2O_5 /г почвы) наблюдается насыщение почвы этим элементом и относительное уменьшение его сорбции. Дальнейшее повышение концентрации фосфора в растворе способствует открытию новых сорбционных участков и увеличению поглощения его почвой. Это указывает на сложный характер сорбции фосфора почвой, в котором участвуют множество сорбентов с различной степенью открывания сорбционных участков.

Определение группового состава фосфатов при обработке чернозема выщелоченного растворами с различными концентрациями фосфора показало, что при увеличении концентрации от 0 до 20 мг/г почвы количество фосфатов I и II групп резко возрастает до 70-80 %, а потом стабилизируется. Доля фосфатов III и IV+V групп, наоборот, с повышением концентрации уменьшается до 20-30 % от всего поглощенного фосфора (рисунок 6; [11]).

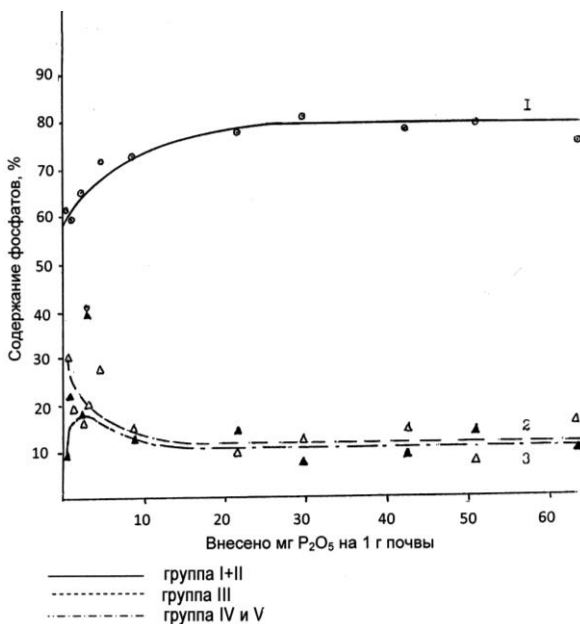


Рисунок 6 – Изменение группового состава фосфатов в черноземе выщелоченном в зависимости от дозы фосфора, % от поглощенного количества

Анализ результатов фракционного состава поглощенных фосфатов показал, что с увеличением концентрации в первую очередь появляются одноосновные фосфаты Ca-P₁ (рисунок 7; [11]). В черноземе выщелоченном их образуется от 20 до 80 % и несколько уменьшается при концентрации фосфора в растворе 1,0 М и выше.

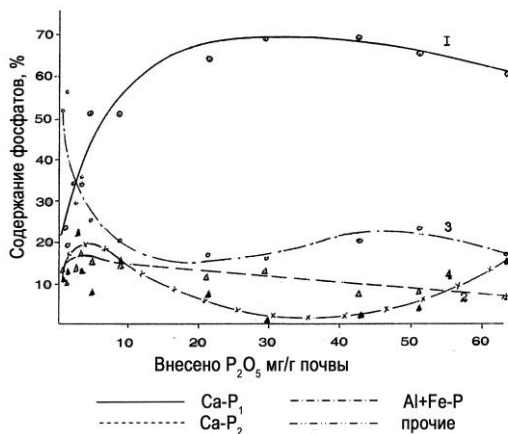


Рисунок 7 – Изменение фракционного состава минеральных фосфатов в черноземе выщелоченном в зависимости от дозы фосфора, % от поглощенного количества

Большую роль в осаждении фосфора играли оксиды железа и алюминия. При низких концентрациях фосфатов железа и алюминия в сумме образовалось от 31 до 52 % от всех поглощенных фосфатов. С увеличением концентрации фосфора в растворе их количество снижалось до 10-20 % от всех фосфатов. При низких концентрациях больше образовалось фосфатов железа, а при высоких – фосфатов алюминия.

Установлена взаимосвязь между отдельными химическими показателями чернозема выщелоченного и содержанием фракций фосфатов при взаимодействии почвы с растворами трех концентраций – 0,01; 0,10; 0,50 М. Выявлена прямая связь между содержанием подвижного железа и фосфатов железа ($r = 0,818; 0,965; 0,975$), валовым содержанием кальция и фосфатов кальция ($r = 0,948; 0,573; 0,962$), рН_{КС1} и фосфатов I-II групп ($r = -0,136; 0,688; 0,785$) и обратная – между содержанием фосфатов алюминия и валовым алюминием ($r = -0,907; -0,916; -0,402$) [11].

Степень подвижности фосфатов – важный агрохимический показатель, характеризующий фосфорный режим почв. Количественно она выражается величиной активной концентрации фосфат-ионов в слабосолевых или водных вытяжках из почв, либо энергией, необходимой для перехода фосфатов из твердой фазы почвы в раствор (фосфатный потенциал почв), или коэффициентом использования радиоизотопа растениями [11].

Данные анализов 0,01 М CaCl₂ вытяжек, полученных в опыте, показывают изменчивость рН, активности фосфат-ионов и фосфатного потенциала чернозема выщелоченного в зависимости от форм вносимых удобрений (таблица 22; [9]). При внесении различных форм фосфорных удобрений величина фосфатного потенциала уменьшалась вследствие возрастания активности в почвенном растворе монофосфат-иона. По сравнению с аН₂РO₄⁻ величина активности иона аНРO₄²⁻ была значительно меньше.

Таблица 22 – Фосфатный потенциал чернозема выщелоченного

Вариант	рН	Активность ионов		Фосфатный потенциал	
		аН ₂ РO ₄ ⁻ моль/л 10 ⁶	аНРO ₄ ²⁻ моль/л 10 ⁶	0,5 рСа + +рН ₂ РO ₄	0,5 рСа + +р(Н ₂ РO ₄ + 0,5НРO ₄)
Без удобрений	6,77	4,28	1,94	6,45	6,36
Н ₃ РO ₄	6,19	6,47	0,76	6,31	6,27
Суперфосфат двойной	6,51	10,7	2,71	6,04	6,00
Обесфторенный фосфат	6,92	5,87	3,80	6,29	6,17

Влияние фосфорных удобрений на активность фосфат-ионов определяется их формой. Максимальная активность Н₂РO₄⁻-иона в солевой вытяжке CaCl₂ почвы отмечалась при внесении суперфосфата двойного, минимальная – обесфторенного фосфата. Это объясняется более медленными превращениями фосфора двойного суперфосфата по сравнению с ортофосфорной кислотой. Фосфор последней быстро вступает в химические и обменные реакции с ионами почвенного раствора и твердой фазой почвы.

Установлена тесная связь между величиной фосфатного потенциала почвы (0,5 рСа + рН₂РO₄) и выносом фосфора растениями и удовлетворительная – с урожаем растений [9,11,20,21].

Выводы. Чернозем выщелоченный Западного Предкавказья обладает высоким запасом валового фосфора. Содержание и распределение его по пахотному и подпахотному слою определяются дерновым процессом почвообразования. До закладки стационарного опыта в 0–20 см слое почвы содержалось 1541 мг/кг валового фосфора, в 21–40 см – 1458 мг/кг, т.е. меньше на 5,4 %.

За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота при выращивании сельскохозяйственных культур без внесения удобрений произошло снижение валового содержания фосфора в пахотном слое на 2,7 %, подпахотном – 4,5 %. Применяемая система удобрения культур в севообороте, наоборот, способствовала его увеличению соответственно на 6,8 и 2,4 %.

Валовой фосфор чернозема выщелоченного в пахотном слое на 39,6 % представлен органическими и на 27,9 % минеральными соединениями, в подпахотном – соответственно на 38,4 и 25,0 %. Систематическое внесение удобрений на полях севооборота способствовало увеличению доли его минеральных и органических форм соединений в фосфорном фонде почвы.

На долю фосфатов I, II, III, IV и V групп в общем фосфорном фонде пахотного слоя чернозема выщелоченного приходится соответственно 1,5; 10,2; 21,1; 41,4 и 26,3 %, подпахотного – 0,7; 10,7; 19,8; 37,1 и 33,4 %. Фосфор удобрений переходит в формы соединений всех пяти групп. В большей степени это касалось водорастворимых (I группа) и щелочноземельных фосфатов (II группа) и меньшей – «нерастворимых» (V группа).

В черноземе выщелоченном по абсолютным показателям содержания фракции минеральных фосфатов расположились в следующий возрастающий ряд: $\text{Ca-P}_1 < \text{Al-P} < \text{Ca-P}_2 < \text{Fe-P} < \text{Ca-P}_3$. При систематическом применении удобрений в почве увеличивается абсолютное количество всех пяти фракций минеральных фосфатов. Однако трансформация фосфора удобрений и высвобожденных под их влиянием из неактивных (восстановлено растворимых и окклюдированных) соединений этого элемента происходит в основном в сторону образования Ca-P_1 и Ca-P_2 . Хотя абсолютное содержание в почве Al-P , Fe-P и Ca-P_3 на фоне удобрений заметно выросло, но относительное количество их осталось без изменений или несколько уменьшилось.

В первые минуты сорбции фосфора удобрений в черноземе выщелоченном образуются подвижные, доступные растениям

формы соединений, которые составляют 50-75 % от всего поглощенного фосфора. С увеличением времени взаимодействия удобрения с почвой происходит сначала уменьшение количества подвижных фосфатов и далее стабилизация их на уровне 45-65 % от поглощенного фосфора. При этом соответственно возрастает доля труднорастворимых фосфатов. Сорбционное равновесие устанавливается тем медленнее, чем выше концентрация фосфора в растворе. В черноземе выщелоченном оно устанавливается в течение от нескольких минут до 5-6 суток.

Поглощение фосфора удобрений черноземом выщелоченным достигает значительных величин – 56,8 мг/г почвы, – и она не является предельной. При изучении поглощения фосфора удобрения черноземом выщелоченным в статических условиях выявлено несколько сорбционных участков, а, значит, и возможность поглощения почвой большего количества фосфора.

Увеличение концентрации фосфора в почвенном растворе способствует образованию хорошо растворимых фосфатов, росту их доли с 40 до 85 % от поглощенного количества, и уменьшению количества труднорастворимых фосфатов с 50 до 10 %. Хорошо растворимые фосфаты в черноземе выщелоченном в основном представлены одноосновными фосфатами Са-Р₁.

При внесении фосфорных удобрений величина фосфатного потенциала чернозема выщелоченного уменьшается вследствие возрастания активности монофосфат-иона в почвенном растворе. Активность фосфат-ионов зависит от формы фосфорных удобрений: максимальная активность отмечается при внесении суперфосфата двойного, минимальная – обесфторенного фосфата.

Литература

1. Адерихин П.Г. Фосфор в почвах и земледелии Центрально-черноземной полосы / П.Г. Адерихин. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1970, - 248 с.
2. Андрианов С.Н. Формирование фосфатного режима дерново-подзолистых почв в разных системах удобрений / С.Н. Андрианов. – М.: ВНИИА, 2004. – 296 с.
3. Гинзбург К.Е. Методы определения фосфора в почве / К.Е. Гинзбург. Агрохимические методы исследований почв. – М.: Наука, 1975. С. 106-190.
4. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР / К.Е. Гинзбург. – М.: Наука, 1981. – 242 с.

5. Глазунова Н.М. Показатели доступности почвенных фосфатов / Н.М. Глазунова, Л.П. Похлебкина // *Агрохимия*, 1989. № 10. С. 118-127.
6. Иванов А.Л. Агробиогеохимический цикл фосфора / А.Л. Иванов, В.Г. Сычев, Л.М. Державин, С.Н. Андрианов, Н.В. Бражникова, Д.В. Карпова, А.И. Карпухин, Н.А. Кирпичников, В.Д. Конончук, Л.Н. Самойлов. – М.: Россельхозакадемия, 2012. – 512 с.
7. Макаров М.И. Фосфор органического вещества почв / М.И. Макаров. – М.:ГЕОС, 2009. – 397 с.
8. Неговелов С.Ф. О фракционном методе определения минеральных фосфатов почвы по Гинзбург-Лебедевой / С.Ф. Неговелов, Н.Г. Пестова // *Почвоведение*. 1978. № 3. С. 140-146.
9. Носов В.П. Фосфаты в почвах Краснодарского края и применение фосфорных удобрений: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук / В.П. Носов. – Краснодар, 1973.-61 с.
10. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения / Д.Н. Прянишников. – М.: Госсельхозиздат. Т. 1, 1952. – 692 с.
11. Суетов В.П. Фосфорный режим почв Кубани при интенсивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В.П. Суетов. – Краснодар, 1994. – 24 с.
12. Сушеница Б.А. Фосфатный уровень почв и его регулирование / Б.А. Сушеница. – М.: Колос. 2007. – 376 с.
13. Сычев В.Г. Приемы оптимизации фосфатного режима почв в агротехнологиях / В.Г. Сычев, Н.А. Кирпичников. – М.: ВНИИА, 2009. – 176 с.
14. Титова В.И. Фосфор в земледелии Нижегородской области / В.И. Титова, О.Д. Шафронов, Л.Д. Варламова. – Нижний Новгород: Нижегородская ГСХА, 2005. -219 с.
15. Ферсман А.Е. Избранные труды / А.Е. Ферсман. – М.: Изд-во АН СССР. Т. 4. 1958. – 588 с.
16. Чумаченко И.Н. Фосфор в жизни растений и плодородии почв / И.Н. Чумаченко. – М.: ЦИНАО, 2003. – 124 с.
17. Шеуджен А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГИРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
18. Шеуджен А.Х. Региональная агрохимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Л.М. Онищенко. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – 502 с.
19. Шеуджен А.Х. Агробиогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.
20. Шеуджен А.Х. Фосфорный режим чернозема выщелоченного Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, Т.Ф. Бочко, Т.Н. Бондарева // *Тр. КубГАУ*. 2014. № 2(47). С. 98-108.
21. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
22. Шеуджен А.Х. Фосфор и методы его определения / А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Т.Н. Бондарева, Н.И. Аканова. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 236 с.

7.1.3 Калий

Валовое содержание калия в почве не всегда характеризует обеспеченность им растений, так как в почве бывает лишь 1 % валовых запасов, доступных растениям. Поэтому об обеспеченности растений калием на разных почвах нужно судить не по общему процентному его содержанию в почве, а по соотношению между формами его соединений

**В.Д. Панников, В.Г. Минеев,
1977**

Кларк калия в земной коре равен 2,35 %, литосфере – 2,6, водах Мирового океана – $3,8 \cdot 10^{-2}$, почве – 1,36, растениях – $3 \cdot 10^{-1}$ %; биофильность – $1,2 \cdot 10^{-1}$, талассофильность – $1 \cdot 10^{-2}$, технофильность – $4 \cdot 10^{-7}$.

Калий – необходимый и незаменимый элемент питания растений. Кроме того, он выполняет важные агрохимические и экологические функции в агроэкосистемах. Уже более 100 лет этот элемент входит в классическую триаду «азот-фосфор-калий», являющаяся фундаментом агрохимии. Тем не менее, при изучении элементов биофилов калию уделяется наименьшее внимание. Невелик в целом и исследовательский интерес к мониторингу калийного состояния почв. Недостаточное внимание к калийной проблематике объясняется, очевидно, высоким валовым содержанием калия в пахотном слое большинства почв и равномерным его распределением по почвенному профилю [1,14,20].

В действительности некоторый дефицит калия экономически и экологически оправдан, однако это допустимо до определенного предела, после которого наблюдается падение плодородия почвы, снижение урожая и качества полученной продукции. При этом значительно сокращается влияние на продуктивность агроценоза азотно-фосфорных удобрений [5,15,17].

В этом отношении показателен следующий пример, который описывает А.В. Соколов [13]. В 1912 г. «Сетью опытных полей Всероссийского общества сахарозаводчиков» была организована Миrowsкая центральная опытная станция по культуре сахарной свеклы. В программу исследований станции было включено изучение системы удобрения свекловичного севооборота. Для сравнения действия орга-

нических и минеральных удобрений была взята тройная комбинация NPK. В 1917 г. калий был исключен из системы удобрения и до 1926 г. не вносился. В этот период отмечено ежегодное снижение урожайности сахарной свеклы. В связи с этим в 1927 г. калий вновь был включен в систему удобрения, и урожаи сразу возросли на 80-90 ц/га.

Содержание калия в почвах обусловлено их минералогическим составом и агрохимическим фоном. Качественный состав почвенных минералов и степень их выветренности определяют как общий запас калия в почвах, так и их способность к поддержанию и воспроизводству уровня подвижных форм элемента [1,7,20].

Запасы калия в черноземах значительны. В пахотном слое почвы они превышают запасы азота в 2-4 раза, фосфора – в 13-16 раз. Валовое содержание калия в черноземах колеблется в пределах 1,5-2,6 %, и запасы его в слое 0-20 см составляют 42-60 т/га, а в метровом слое они достигают 230-280 т/га [5,7,17].

Поскольку валовой калий является индифферентным показателем обеспеченности агроценоза этим элементом, возникает необходимость подразделения общего калийного запаса на ряд фракций, характеризующих условия калийного питания растений [20]. Наиболее удачная классификация принадлежит В.У. Пчелкину, который разделил валовой калий почвы на шесть форм: 1) водорастворимый; 2) обменный; 3) необменный гидролизуемый; 4) необменный инертный; 5) силикатный; 6) калий органической части почвы [7].

Трансформация калия в почвах, в отличие от азота и фосфора, почти не связана с микробиологическим и химическим закреплением. Внутрипрофильная миграция ионов калия, тем не менее, затруднена в связи с адсорбцией и необменным поглощением их почвенными коллоидами. При естественном ходе почвообразования соотношение форм элемента определяется интенсивностью его мобилизации из кристаллической решетки алюмосиликатов, процессами сорбции и десорбции, которые диагностируются по схеме: силикатный калий → необменный калий ⇌ обменный калий ⇌ калий почвенного раствора. Все формы калия в почве взаимосвязаны между собой геохимическими процессами и в той или иной степени участвуют в питании растений [10].

Водорастворимый калий (калий почвенного раствора) находится в ионной форме и его количество в наибольшей степени зависит от гидротермического режима. Он тесно связан со всем ка-

лийным комплексом почвы и, как зеркало, отражает его состояние. Водорастворимый калий хорошо доступен растениям, однако содержание его в почве весьма незначительно – 0,01-0,15 % от общего его количества. Черноземы Кубани в среднем содержат 25-30 мг/кг водорастворимого калия [8,9].

Обменный калий представлен ионами, находящимися на поверхности отрицательно заряженных коллоидов почвы, и удерживается силами электростатического притяжения. Весь экстрамицеллярно поглощенный калий почвы способен к обмену в реакциях замещения и способен экстрагироваться растворами солей.

Ионы обменного калия не равнозначны по доступности растениям. В зависимости от пространственного расположения функциональных групп потенциалоопределяющего слоя почвенного поглощающего комплекса, взаимодействующих с ионами калия почвенного раствора, энергия связи, а, следовательно, и вероятность десорбции его в раствор различна. Сила удерживания обменного калия обуславливается его положением на адсорбционной поверхности, которая может быть плоскостью кристалла, боковым сколом, гранями, краевыми зонами расширенного межпакетного пространства трехслойных глинистых минералов, а также внутренним пространством гумусовых кислот. Слабо адсорбированы ионы калия на плоских поверхностях микрокристаллов и коллоидов, несколько крепче они удерживаются на ребрах и углах. Калий, локализованный на этих сорбционных позициях (планарные и боковые позиции), относится к категории интенсивно-обменного калия, поскольку такие ионы могут легко переходить в почвенный раствор. Прочно ионы калия удерживаются в периферии межпакетного пространства трехслойных глинистых минералов (клинообразные позиции) и наиболее прочно – в гексагональных ячейках внутри межпакетного пространства решетки, открывающегося при гидратации и увеличении межпакетного расстояния. Прочность связи обменного калия на всех типах обменных позиций, особенно в клинообразных межпакетных промежутках, при прочих равных условиях, возрастает с увеличением отрицательного заряда минерала. На обменных позициях органического вещества калий удерживается слабее, чем на глинистых минералах [1,2,5].

Доля обменного калия в калийном фонде почв в среднем составляет: для дерново-подзолистых – 0,5 %; серых лесных – 1,0; черноземов – 1,5-2,0; сероземов и каштановых – 2,0-3,0 % [2,57]. В

районах наиболее интенсивного земледелия Краснодарского края в черноземе выщелоченном обменного калия обычно содержится 250-450 мг/кг, с колебаниями в пределах 150-550 мг/кг [11,12].

При оценке калийного статуса почвы считается «идеальным», если доля калия от емкости катионного обмена находится в пределах 2-5 %. Для чернозема выщелоченного оптимум находится в диапазоне 2,5-3,5 % от емкости катионного обмена почвы [3,4,7].

Между водорастворимым и обменным калием существует подвижное равновесие. Количество обменного калия уменьшается по мере его потребления растениями из почвенного раствора и постоянно пополняется за счет необменных форм элемента. Следует отметить, что в почве содержание обменного калия никогда в точности не соответствует наличию усвояемого растениями. Всегда остается некоторый минимум обменного калия даже при длительном возделывании сельскохозяйственных культур. Калий необменный находится в структуре слюдоподобных минералов и органо-минеральных смектитовых комплексов. Эта форма калия участвует в формировании в почве равновесной системы и частично доступна для растений. Определение необменного калия позволяет установить резервы его обменных форм. Силикатный калий минерального скелета, определяющий его валовые запасы в почве, представлен почвенными калийсодержащими первичными и вторичными минералами. Для растений он в основном недоступен [7,20].

Калий органической части почвы составляет весьма небольшое количество. Он находится в составе живой фазы почвы, органических остатков и в гумифицированном веществе [6]. «Ввиду того, – писал А.А. Шмук [19], – что органическое вещество почв на самом деле содержит лишь самое незначительное количество зольных элементов (в составе золы, хорошо очищенной гуминовой кислоты, по его данным содержится 1,22 % калия. – Авт.), роль его как источника всестороннего питания растений зольными элементами не может быть значительной ... после их минерализации».

Самым надежным методом оценки калийного режима почв является проведение длительных полевых опытов. Это позволяет выявить реальные возможности почв в обеспеченности агроценоза калием. Осуществляемое в таких исследованиях сопоставление данных об урожае и результатов агрохимических анализов позволяет получить объективную характеристику калийного статуса почвы.

В настоящей работе приводятся результаты исследований по определению содержания калия и трансформации его форм в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза.

Проведенные исследования показали, что чернозем выщелоченный имеет достаточно высокий уровень обеспеченности калием (таблица 23).

Таблица 23 – Содержание калия и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Калий валовой	Калий					
			водорастворимый	обменный	необменный		органической части почвы	силикатный («скелетный»)
					гидролизуемый	инертный		
До освоения севооборота	0-20	19820	32	370	1715	4580	42	13155
	21-40	19790	28	330	1660	4590	28	13210
После трех ротаций севооборота								
Без удобрений	0-20	19785	28	350	1690	4575	32	13160
	21-40	19740	24	320	1620	4590	24	13210
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	19800	39	380	1720	4570	46	13130
	21-40	19765	34	370	1670	4585	30	13140

Пахотный слой почвы до закладки стационарного опыта содержал 19820 мг/кг, подпахотный – 19790 мг/кг валового калия. На долю силикатного, необменного инертного, необменного гидролизуемого и обменного калия в общем калийном фонде пахотного слоя почвы приходилось соответственно 66,37; 23,11; 8,65 и 1,87 %, подпахотного – 66,75; 23,19; 8,39 и 1,67 %. Водорастворимого калия в 0-20 см и 21-40 см слоях почвы было 8,65 и 7,57 % от его обменной формы, что, естественно, не может удовлетворить потребность культур севооборота в этом элементе.

В связи с небольшим содержанием органических веществ в черноземе выщелоченном, содержание калия в органической части почвы низкое. В общем калийном фонде на его долю приходилось всего лишь 0,21 и 0,14 % соответственно в пахотном и подпахотном слое.

За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота при выращивании сельскохозяйственных культур без внесения удобрений валовое содержание калия в пахотном и подпахотном слоях почвы снизилось несущественно – соответственно на

0,18 и 0,25 %. Произошло это преимущественно за счет уменьшения доли обменного и необменного гидролизуемого калия, поскольку количество силикатного практически не изменилось. Выращивание культур севооборота без внесения удобрений сопровождалось снижением содержания калия органической части почвы, но из-за незначительного его количества, это не оказывает существенного влияния на калийный статус чернозема выщелоченного.

Систематическое применение удобрений замедлило, но полностью не предотвратило снижение валового содержания калия в черноземе выщелоченном. Обеднение произошло вследствие вымывания богатых калием коллоидных частиц с фильтрационными водами из корнеобитаемого слоя почвы [18].

Удобрения не влияли на содержание силикатного калия, но в некоторой степени изменяли количество обменных форм этого элемента в почве. В частности, просматривается слабо выраженная тенденция уменьшения содержания необменного инертного и увеличения количества необменного гидролизуемого калия. Внесение удобрений не сопровождалось существенным увеличением количества обменного калия в черноземе выщелоченном. Связано это с высокой насыщенностью почвенного поглощающего комплекса двухвалентными основаниями, препятствующими его поглощению. Небольшое увеличение содержания обменного калия в почве под воздействием удобрений происходит в основном за счет мобилизации необменного гидролизуемого. Внесение удобрений способствовало повышению количества водорастворимого калия. Содержание его в пахотном и подпахотном слоях почвы возрастало на 21,9 и 21,4 % по сравнению с исходным количеством. Заметно положительное влияние удобрений и на содержание калия органической части почвы. Это, по-видимому, связано с большим поступлением органических остатков агроценоза под воздействием удобрений, вносимых под культуры севооборота.

Подвижность и трансформация калия удобрений в черноземе выщелоченном изучалась доцентом кафедры агрохимии Кубанского госагроуниверситета Ю.Г. Погореловым [3,4]. Как показали его исследования, калий удобрений очень быстро связывается почвой. Так, на третьи сутки контакта увлажненной почвы с калием хлористым существенных различий в содержании водорастворимого калия в сравнении с исходным уже не отмечалось. Количество же

обменного калия возрастало. Однако поверхностное внесение калийного удобрения увеличивало содержание обменного калия исключительно в верхнем 0-5 см слое почвы (таблица 24; [3,4]).

Таблица 24 – Распределение обменного калия в черноземе выщелоченном в связи с применением удобрений, мг/кг

Слой почвы, см	Лабораторный опыт				Полевой опыт			
	без удобрений	K ₄₅	K ₉₀	K ₁₃₅	без удобрений	K ₄₅	K ₉₀	K ₁₃₅
0-5	190	260	300	320	350	390	450	510
5-10	190	200	200	260	260	280	280	250
10-20	200	190	190	190	260	250	250	250
20-30	190	180	190	190	270	260	240	270
30-50	180	190	200	190	220	270	230	250
50-70	180	170	190	200	220	230	220	240
70-100	–	–	–	–	230	240	260	270

Количество обменного калия глубже 5 см почвы независимо от внесенной нормы удобрения существенно не изменялось и составило на всех вариантах в лабораторном эксперименте в среднем 190, а в полевом опыте – 250 мг/кг.

Увеличение содержания обменного калия в поверхностном 0-5 см слое почвы происходило по мере возрастания нормы удобрения. Значительная часть калия удобрений, после внесения их в почву, перешла в необменную форму (таблица 25; [3]).

Таблица 25 – Превращение калия удобрений в выщелоченном черноземе

Вариант	Лабораторный опыт			Полевой опыт		
	внесено калия	осталось в обменной форме	необменно поглощено почвой	внесено калия	осталось в обменной форме	необменно поглощено почвой
	мг K ₂ O /сосуд			г K ₂ O /м ²		
K ₄₅	4,5	3,9	0,6	4,5	2,6	1,9
K ₉₀	9,0	6,5	3,5	9,0	6,4	2,6
K ₁₃₅	13,5	7,8	5,7	13,5	10,2	3,3

Переход калия удобрений в необменную форму, как показали исследования Ю.Г. Погорелова [3], происходит очень быстро. В лабораторном эксперименте в течение трех дней необменно поглощалось почвой 14-42 % внесенного калия удобрений. При более длительном контакте калия удобрения с почвой фиксация элемента не увеличивалась. В полевом опыте в течение шести месяцев необменно поглощено почвой от 25 до 43 % внесенного калия удобрений. Установлена прямая связь между дозой удобрения и количеством фиксированного почвой калия.

Определение необменного инертного калия в черноземе выщелоченном показало, что его содержание по мере повышения дозы калийного удобрения увеличивается исключительно в 0-5 см слое почвы (таблица 26; [3,4]).

Таблица 26 – Распределение необменного калия в черноземе выщелоченном в связи с применением удобрений, мг/кг

Слой почвы, см	Без удобрений	K ₄₅	K ₉₀	K ₁₃₅
0-5	3470	3630	3780	3940
5-10	3350	3350	3350	3350
10-20	3350	3350	3350	3350
20-30	3100	3350	3220	3350
30-50	3100	3220	3220	3220
50-70	3220	3220	3000	3350
70-100	3220	3000	3100	3220

В более глубоких слоях почвы количество этой формы было стабильным на всех вариантах опыта, что говорит об отсутствии миграции калия по почвенному профилю.

Чернозем выщелоченный обладает способностью закреплять значительное количество калия удобрений, как в обменной, так и в необменной форме, предотвращая его вымывание атмосферными осадками. Несмотря на интенсивное поглощение калия выщелоченным черноземом, все же отмечены небольшие потери его водорастворимых соединений. Анализ фильтрационных вод в лабораторном опыте показал, что содержание калия в них не превышает 3 мг/л. Количество калия в фильтрате из сосудов, где вносилось калийное удобрение, и контроля было одинаковым, т.е. калий удобрений закреплялся в почве и потери его при этом существенно

не увеличивались. Потери калия на всех вариантах составили всего 5,5-6,0 кг/га [3,4,15,16].

Выводы. Запасы калия в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья значительны. До закладки стационарного полевого опыта в 0-20 см и 21-40 см слоях почвы валового калия содержалось 19820 и 19790 мг/кг. За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота при выращивании сельскохозяйственных культур без внесения удобрений содержание валового калия в 0-20 и 21-40 см слоях почвы снизилось незначительно – соответственно на 0,18 и 0,25 %. Систематическое применение удобрений на полях севооборота не полностью компенсировало потери этого элемента из почвы.

На долю силикатного, необменного инертного, необменного гидролизуемого и обменного калия в общем калийном фонде пахотного слоя чернозема выщелоченного приходится соответственно 66,37; 23,11; 8,65 и 1,87 %, подпахотного – 66,75; 23,19; 8,39 и 1,67 %. Чернозем выщелоченный характеризуется низким содержанием водорастворимого калия. В связи с небольшим количеством органического вещества содержание в нем калия в органической части почвы также низкое. Суммарная доля этих форм в калийном фонде почвы не превышает 0,5 % и не может удовлетворить потребности растений в этом элементе.

Калийный режим чернозема выщелоченного обуславливается его генетическими особенностями и агрохимическим фоном. Применяемая система удобрения культур севооборота не влияла на содержание в почве силикатного калия, но в некоторой степени изменяла количество необменных форм элемента. Под их воздействием несколько уменьшается содержание необменного инертного и увеличивается количество необменного гидролизуемого калия.

В связи с высокой насыщенностью почвенного поглощающего комплекса чернозема выщелоченного двухвалентными основаниями, систематическое применение удобрений на полях севооборота не приводит к существенному увеличению содержания в почве обменного калия. Хотя тенденция повышения количества этой формы калия под влиянием удобрений четко просматривается. В черноземе выщелоченном калий удобрений закрепляется в месте его внесения. Внутрипрофильная миграция калия весьма незначительная. Поэтому вносить калийные удобрения лучше всего под основную обработку

почвы, когда они попадают в более глубокие увлажненные слои и могут быть полнее использованы растениями в течение вегетации. За период вегетационный сельскохозяйственных культур содержание обменного калия в почве подвержено значительным колебаниям. Его количество в почве зависит от биологических особенностей культуры, фазы развития растений и погодных условий.

Выявленные региональные особенности современного калийного состояния чернозема выщелоченного Западного Предкавказья являются основой дифференцированного подхода к обоснованию масштабов применения калийных удобрений, а также комплекса мер по направленному регулированию калийного режима почвы.

Литература

1. Минеев В.Г. Агрохимия и экологические функции калия / В.Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 332 с.
2. Ониани О.Т. Агрохимия калия / О.Т. Ониани. – М.: Наука, 1981.-200 с.
3. Погорелов Ю.Г. О подвижности калия удобрений в выщелоченном черноземе Краснодарского края / Ю.Г. Погорелов. – Тр. КубСХИ. 1972. Вып. 42(70). С. 13-15.
4. Погорелов Ю.Г. Формы калия в выщелоченном черноземе Кубани, их превращение и применение калийных удобрений: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Ю.Г. Погорелов. – Краснодар, 1969. – 24 с.
5. Прокошев В.В. Калий и калийные удобрения / В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин. – М.: Ледум, 2000. – 185 с.
6. Простаков П.Е. Агрономическая характеристика почв Северного Кавказа / П.Е. Простаков, П.В. Носов. – М.: Россельхозиздат, 1964. – 264 с.
7. Пчелкин В.У. Почвенный калий и калийные удобрения / В.У. Пчелкин. – М.: Колос, 1966. – 336 с.
8. Редькин Н.Е. Содержание калия в почвах / Н.Е. Редькин / Агрохимическая характеристика почв СССР. Районы Северного Кавказа. – М.: Наука, 1964. С. 91-93.
9. Редькин Н.Е. Агрохимические показатели почв / Н.Е. Редькин / Агрохимическая характеристика почв СССР. Районы Северного Кавказа. – М.: Наука, 1964. С. 75-77.
10. Середина В.П. Калийное состояние черноземов Западной Сибири / В.П. Середина / Современное состояние черноземов. – Ростов-на-Дону, 2013. С. 269-270.
11. Симакин А.И. Об индексах обеспеченности выщелоченного чернозема Кубани обменным калием / А.И. Симакин, Ю.Г. Погорелов // Химия в сельском хозяйстве. 1970. № 1. С. 59-61.

12. Симакин А.И. Удобрение, плодородие почв и урожай / А.И. Симакин. – Краснодар: Краснодар. кн. изд-во, 1988. – 276 с.
13. Соколов А.В. Географические закономерности эффективности удобрений / А.В. Соколов. – М.: Знание, 1968. С. 42.
14. Шеуджен А.Х. Калийный режим почвы при внесении микроудобрений под рис / А.Х. Шеуджен, Ю.А. Кузнецов // Химизация сельского хозяйства. 1991. № 4. С. 19-21.
15. Шеуджен А.Х. Калийный режим чернозема выщелоченного Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, Т.Н. Бондарева, Г.Ф. Бочко // Тр. КубГАУ. 2014. № 3(48). С. 125-430.
16. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
17. Шеуджен А.Х. Калий и методы его определения / А.Х. Шеуджен В.П. Суетов, Х.Д. Хурум, Т.Н. Бондарева, Н.И. Аканова. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2017. – 192 с.
18. Шильников И.А. Потери элементов питания растений в агробиохимическом круговороте веществ и способы их минимизации / И.А. Шильников, В.Г. Сычев, А.Х. Шеуджен, Н.И. Аканова, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – М.: ВНИИА, 2012. – 351 с.
19. Шмук А.А. Динамика режима питательных веществ в почве. Труды Т. 1 // А.А. Шмук. – М.: Пищепромиздат, 1950. – 372 с.
20. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири / В.Н. Якименко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 231 с.

7.1.4 Кремний

Потребность растений в кремнии может возникнуть не только из-за недостатка в почве, но и в результате неблагоприятно складывающихся почвенных условий. В первую очередь это относится к кислотности, снижающей подвижность кремния, наличию токсичных для растений соединений, особенно в анаэробных условиях.

**Б.М. Першина, А.Н. Першина,
Л.М. Егорина, 1995**

Кремний – наиболее распространенный после кислорода элемент в земной коре. Его кларк в земной коре равен 26,0 %, литосфере – 27,6 %; в водах Мирового океана – $5 \cdot 10^{-5}$, в почве – 33,0; в растениях – $1,5 \cdot 10^{-1}$ %; биофильность – $7 \cdot 10^{-2}$, талассофильность – $6,8 \cdot 10^{-5}$.

Кремний в почве находится в полевых шпатах, глинистых минералах типа каолинита и монтмориллонита, орто- и метасиликатах, кварце и аморфном кремнеземе. Содержание его в почве зависит от характера почвообразующей породы. В процессе почвообразования соединения кремния трансформируются и мигрируют в почвенном профиле. Подзолообразовательный процесс приводит к повышению его содержания в верхнем слое почвы в виде кварца, а в нижнем – в форме глинистых минералов; при осолодении он накапливается в виде аморфной кремнекислоты. Сильное обеднение этим элементом наблюдается при латерито- и красноземообразованиях. Из всех форм соединений кремния наиболее устойчив кварц. С остатками фитоценоза кремний поступает в почву в форме кристаллических включений кварца, кристобалита, моно- и поликремневых кислот [1,3,4,11].

Значение и роль кремния в почве Д.С. Орлов [10] определяет следующими тремя положениями: 1) соединения кремния в большинстве почв и горизонтов создают их материальную базу, основной костяк почвенной массы, выполняя тем самым конституционную роль; 2) количественное распределение кремния по почвенному профилю служит одним из показателей типа протекающих процессов, а по соотношению $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ или $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ различают типы кор выветривания; 3) с соединениями кремния непосред-

ственно связаны многие свойства почвы. От содержания и состава алюмосиликатов зависят связность и липкость почв, их набухаемость, а также емкость катионного обмена. В глинистых и тяжело-суглинистых почвах даже инертный кварц может играть положительную роль, улучшая их водно-воздушный режим.

Под влиянием кремния в почве повышается подвижность фосфора, смягчается токсическое действие марганца и продуктов анаэробного разложения, более рационально используются азот, фосфор, калий, вода, повышается устойчивость растений к полеганию, болезням и вредителям, снижается стерильность, осыпаемость, трещиноватость зерновок, увеличивается их масса [12,14,18].

Валовое содержание кремния в почвах колеблется от 18,7 до 32,7 % в глинистых от 42,0 до 45,8 % в песчаных [5,12]. В почвах Кубани оно составляет 25,9-32,3 % [15,17]. Однако основная часть этого элемента является биохимически пассивной и в виде соединений с кислородом (SiO_2) играет роль минерального скелета почвы.

В результате гидролиза алюмосиликатов и растворения кварца, халцедона, опала, а также минерализации остатков фитоценоза, кремний в форме анионов орто- и метакремниевых кислот, силикатов натрия и калия, частично в форме золя поступает в почвенный раствор. Концентрация его зависит от почвенно-климатических факторов и колеблется в пределах 1-200 мг/л. Процесс высвобождения кремниевой кислоты из почвенных силикатов называется десиликацией. Свободная кремниевая кислота может осаждаться биологическим путем или соосаждаться с гидроксидами алюминия, образуя аллофаны, т. е. аморфные образования. В условиях промывного водного режима происходит ее выщелачивание из корнеобитаемого слоя почвы [6,13,17].

На содержание кремния в почвенном растворе определенное влияние могут оказать присутствующие здесь ионы фосфора, алюминия, кальция, магния и железа. В кислых почвах силикатный и фосфатный ионы образуют нерастворимые осадки. Оксиды алюминия и железа обладают заметной сорбционной емкостью в отношении растворенного кремния в форме H_4SiO_4 . Сульфаты, карбонаты и бикарбонаты кальция и магния снижают растворимость соединений кремния и вызывают его осаждение в виде силикатов щелочных земель или оксида. Органическое вещество, присутствующее в переувлажненных почвах, может стать причиной по-

вышения подвижности кремния. Это происходит за счет восстановления оксидов железа, которые высвобождают адсорбированные на них мономеры кремниевой кислоты.

Вовлечение почв в сельскохозяйственное производство нарушает сложившийся в них баланс элементов питания, поскольку значительная часть их ежегодно безвозвратно отчуждается с полей урожаями. Обычно, растения выносят кремния больше, чем других элементов питания. Так, для картофеля эта величина колеблется от 50 до 70 кг/га, для зерновых культур – от 100 до 300 кг/га. Максимальное количество кремния выносятся растениями риса и сахарным тростником – до 500-700 кг/га. Ежегодно в мире 210-224 млн. т кремния безвозвратно отчуждается. Поэтому в почвах сельскохозяйственного назначения быстро снижается содержание доступного растениям кремния в пахотном горизонте. Нарастающий его дефицит вызывает ряд негативных последствий, т. к. кремний является не только элементом питания растений, но и конструктивным почвенным элементом. Дефицит монокремниевой кислоты и уменьшение содержания аморфного кремнезема приводит к разрушению органоминерального комплекса почвы, ускорению деградации органического вещества, ухудшению минералогического состава. Для поддержания баланса монокремниевой кислоты с целью обеспечения достаточного уровня питания растений кремнием и предотвращения деградации почв необходимо внесение кремниевых удобрений [8,9].

Основатель теории минерального питания Ю. Либих [7], опираясь на данные по химическому составу растений, первым пришел к выводу о необходимости внесения кремниевых удобрений под сельскохозяйственные культуры. В 1856 г. Д.Б. Лооз заложил первый полевой опыт «GrassPark» на Ротамстедской станции (Rothamsted Station) в Англии, где в одном из вариантов предусматривалось ежегодное внесение кремниевого удобрения. Этот эксперимент продолжается до сих пор, и вариант с данным видом удобрения обеспечивает стабильную прибавку урожая [13].

В России инициатором изучения и испытания кремниевых удобрений был Д.И. Менделеев, который в 1870 г. предложил использовать аморфный диоксид кремния. В 1881 г. в США J. Zippicott и J. Zippicott первыми запатентовали коммерческое кремниевое удобрение. В настоящее время кремниевые удобрения получили

наибольшее применение в рисоводстве. Установлены критерии необходимости их внесения под рис (таблица 27; [12,13,14]).

Таблица 27 – Группировка рисовых почв по содержанию доступного растениям кремния

Обеспеченность почв	Содержание кремния		Ожидаемая эффективность кремниевых удобрений
	в почве, мг/кг	в соломе, %	
Низкая	< 105	< 11	высокая
Средняя	105-130	11-13	средняя
Высокая	> 130	> 13	не эффективно

Как следует из приведенных данных, если в почве содержится меньше 105 мг/кг доступного растениям кремния, то посеvy риса нуждаются во внесении кремниевых удобрений.

Оптимизация кремниевого питания приводит к повышению устойчивости растений к неблагоприятным факторам окружающей среды и их продуктивности [2]. Однако отсутствие надежного и высокоинформативного метода определения доступных для растений форм соединений кремния в почве тормозит широкое применение кремниевых удобрений в земледелии [9].

Существующие методы определения кремния в почве основаны на применении различных реагентов, включая воду [12]. Несмотря на многообразие способов экстрагирования, при анализе сухих почвенных образцов ни одна из вытяжек не позволяет достоверно оценить количество доступного растениям кремния. Это обусловлено наличием в почвенном растворе доступной для растений монокремниевой и недоступной – поликремниевой кислот. При высушивании почвенного образца обе формы трансформируются в аморфный кремнезем, который и растворяется в экстрактах. Для решения этой проблемы В.В. Матыченковым [9] предложена оригинальная методика с использованием водной вытяжки из сырой почвы и кислотной из сухой. Использование водной вытяжки позволяет экстрагировать монокремниевые кислоты, которые непосредственно потребляются растениями (кремний актуальный). В случае кислотной вытяжки (0,1 н HCl) из почвы определяется кремний потенциальный, который соответствует содержанию аморфного кремнезема биогенного и абиогенного генезиса, явля-

ящегося основным источником монокремниевых кислот. Кремний активный, включающий актуальный и потенциальный, служит комплексным показателем кремниевого состояния почв. Его содержание описывается уравнением $Si_{актив.} = 10 \times Si_{актуальн.} + Si_{потенц.}$, где 10 – поправочный коэффициент, учитывающий, что в водный раствор переходит лишь 1/10 часть аморфного кремнезема.

В.В. Матыченков [9] на основе анализа результатов своих исследований, где были определены различные формы соединений кремния, сгруппировал почвы по их содержанию (таблица 28).

Таблица 28 – Градация почв по дефициту доступного для растений кремния

Уровень дефицита Si в почве	Актуальный Si (водн. вытяжка)	Потенциальный Si (0,1 н HCl вытяжка)	Активный Si, ($Si_{актив.} = 10 \times Si_{актуал.} + Si_{потенц.}$)
	мг/кг почвы		
Нет дефицита	>40	>600	>1000
Низкий уровень	20-40	300-600	500-1000
Дефицит	10-20	100-300	200-500
Высокий уровень	0-10	0-100	0-200

Нет дефицита кремния – этот уровень содержания доступных для растений форм соединений кремния характерен для почв с высоким уровнем плодородия (пойменные, вулканические, некультивируемые черноземы). Кремниевые удобрения или почвенные мелиоранты для этих почв могут быть использованы для оптимизации фосфорного и азотного питания растений.

Низкий уровень дефицита кремния характерен для некультивируемых почв с высоким и средним уровнем плодородия (серая лесная, бурая лесная, серая почва). К почвам, имеющим низкий уровень дефицита кремния для растений, относятся также черноземы, использующиеся в сельском хозяйстве. Кремниевые удобрения и мелиоранты на этих почвах позволят увеличить обеспеченность растений кремнием и эффективность применения минеральных и органических удобрений.

Дефицит кремния характерен для деградированных сельскохозяйственных угодий, почв с низким уровнем плодородия (дерново-подзолистые почвы). Кремниевые удобрения обеспечат снижение скорости или прекращение деградации и эродированности сельскохозяйственных почв, необходимый уровень кремниевого питания растений.

Высокий уровень дефицита кремния характерен для сильно деградированных и песчаных почв. Недостаток активных форм соединений кремния существенно снижает урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность вносимых агрохимикатов.

Валовое содержание кремния в черноземе выщелоченном несколько ниже кларка почв (таблица 29). В варианте севооборота, в котором на протяжении 33 лет в почву не вносились удобрения, оно составляет 33,13% и 32,21% в пахотном и подпахотном слое, а в получившем за этот период $N_{1740}P_{1740}K_{1160}$ – соответственно 31,76% и 31,88%. Просматривается слабовыраженная тенденция вовлечения кремния в агробиогеохимический цикл при длительном применении минеральных удобрений на полях севооборота. Пахотный слой чернозема выщелоченного постепенно «расстается» с кремнием. Обусловлено это с одной стороны воздействием минеральных удобрений как химических реагентов на кремнийсодержащие минералы, образованием в результате этого подвижных соединений элемента и перемещением их в нижние горизонты почвы. С другой стороны – увеличением количества остатков агроценоза и биологической активности почвы вследствие роста продуктивности севооборота под воздействием удобрений.

Таблица 29 – Содержание валового кремния и доступных растениям его форм в черноземе выщелоченном

Вариант	Слой почвы, см	Валовой, %	Актуальный	Потенциальный	Активный
Без удобрений	0-20	32,13	18,0	396	576
	21-40	32,21	12,2	372	494
$N_{1740}P_{1740}K_{1160}$	0-20	31,76	19,1	408	599
	21-40	31,88	13,0	384	514

Количество активного кремния в черноземе выщелоченном, т. е. доступного растениям, чрезвычайно мало – всего лишь 0,05–0,06 % валового его содержания. В удобряемой почве его содержание составляет 576 и 494 мг/кг в пахотном и подпахотном слое, удобряемой – 599 и 514 мг/кг соответственно. Следовательно, при внесении минеральных удобрений создаются условия для более интенсивного образования доступного растениям (активного) кремния.

Наиболее «легко» растения потребляют водорастворимый, так называемый актуальный кремний. В выщелоченном черноземе опытного участка его содержание в пахотном и подпахотном слое на неудобренном варианте 18,0 и 12,2 %, удобренном – соответственно на 1,1 и 0,8 мг/кг или 6,1 и 6,6 % больше. В соответствии с классификацией В.В. Матыченкова растения, произрастающие на этой почве, испытывают дефицит кремния.

Потенциального (кислоторастворимого) кремния в почве больше, чем актуального в 21,4–22 раза в пахотном и 29,5–30,5 раз в подпахотном слое. Распределен он в слое 0–40 см достаточно равномерно, хотя в пахотном слое его содержание несколько выше. Внесение минеральных удобрений положительно отражается на образовании кислоторастворимой формы кремния. Систематическое внесение полного минерального удобрения на полях севооборота привело к увеличению на 3,0–3,2 % его количества. Содержание потенциального кремния, также как и актуального, показывает, что чернозем выщелоченный опытного участка не может обеспечить растения кремнием в достаточном для их роста и развития количестве и наступит время, когда встанет вопрос о необходимости внесения кремниевых удобрений [15,16,17].

Выводы. Несмотря на значительные валовые запасы кремния в черноземе выщелоченном (~32 %), растениям в условиях агрогенеза доступно лишь 0,03–0,04 % этого элемента. В слое 0–40 см почвы доступные растениям формы соединений кремния распределяются достаточно равномерно с несколько большей концентрацией в пахотном слое. Внесение минеральных удобрений на полях севооборота стимулирует образование доступных растениям форм соединений кремния в почве. Чернозем выщелоченный содержит недостаточное для оптимального роста и развития растений количество доступного кремния.

Литература

1. Айлер Р. Химия кремнезема. В 2-х т. / Р. Айлер, – М.: Мир, 1992. – 1128 с.
2. Байбеков Р.Ф. Научно-практические рекомендации по применению комплексного минерального удобрения нитроаммофоски с антислеживающимися добавками в растениеводстве / Р.Ф. Байбеков, И.А. Шильников,

Н.И. Аканова, А.Х. Шеуджен, Т.Н.Бондарева, С.В. Кизинек, М.В. Таук, И.И. Николаева, Н.Ф. Лунина. – М.: ВНИИА, 2013.-32 с.

3. Белостоцкая И.С. Химия кремния / И.С. Белостоцкая. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 64 с.

4. Вадковская И.К. Химические элементы и жизнь в биосфере / И.К. Вадковская, К.И. Лукашев. – Минск: Вышэйшая школа, 1981. – 175 с.

5. Воронков М.Г. Кремний и жизнь / М.Г. Воронков, Г.И. Зелчан, Э.Я. Лукевиц. – Рига: Зинатне, 1978. – 588 с.

6. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

7. Либих Ю. Химия в приложении к земледелию и физиологии / Ю. Либих. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1936. – 408 с.

8. Матыченков В.В. Влияние кремниевых удобрений на растения и почву / В.В. Матыченков, Е.А. Бочарникова, Я.М. Аммосова // Агрохимия. 2002. №2. С. 86-93.

9. Матыченков В.В. Градация почв по дефициту доступного растениям кремния / В.В. Матыченков // Агрохимия. 2007. №7. С. 22-27.

10. Орлов Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. – М.: МГУ, 1985. – 376 с.

11. Рохов Е.Д. Мир кремния / Е.Д. Рохов. – М.: Химия, 1990. – 152 с.

12. Шеуджен А.Х. Кремний и методы его определения / А.Х. Шеуджен, Т.Ф. Бочко, М.Х. Кемечева, С.А. Рябцова. – Майкоп: МГТИ, 2002. – 41 с.

13. Шеуджен А.Х. Теория и практика применения кремниевых удобрений на посевах риса / А.Х. Шеуджен, М.Х. Кемечева, А.К. Шапацев. – Майкоп: МГТИ, 2003. – 103 с.

14. Шеуджен А.Х. Агрохимия и физиология питания риса / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2005. – 1012 с.

15. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2015. – 232 с.

16. Шеуджен А.Х. Содержание валового кремния и доступных растениям его форм в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Т.Ф. Бочко, Л.М. Онищенко, И.А. Лебедевский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Тр. КубГАУ, 2016. №1(58). С. 179-184.

17. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 3. Экспериментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 755 с.

18. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 4. Фундаментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 529 с.

7.2 Мезоэлементы

7.2.1 Кальций

Кальций ... является своего рода «стражем» почвы, охраняя ее структуру, и даже ее собственное тело от изменений, задерживая, коагулируя коллоидную часть, не давая ей вымываться, передвигаться в более глубокие горизонты.

А.Н. Соколовский, 1956

Кларк кальция в земной коре равен 3,25 %, литосфере – 3,6, водах Мирового океана – $4 \cdot 10^{-2}$, почве – 1,37, растениях – $3 \cdot 10^{-1}$ %; биофильность – $1,7 \cdot 10^{-1}$, талассофильность – $1,5 \cdot 10^1$, технофильность – $2 \cdot 10^8$.

Кальций по распространенности в земной коре занимает пятое место после кислорода, кремния, алюминия и железа. Содержание его в почвах колеблется от 0,5 до 5,0 %. Основная часть этого элемента находится в почве в форме труднорастворимых минеральных соединений (главные «кальциедержатели») – карбонатов, сульфатов, фосфатов, силикатных и алюмосиликатных минералов. Значительная часть кальция содержится в обменно-поглощенной форме и в очень небольшом количестве – в органическом веществе почвы, а также в почвенном растворе в виде водорастворимых солей – нитратов, хлоридов и бикарбонатов, которые образуются при вытеснении в раствор поглощенного кальция, а также в результате растворения карбонатов и разрушения силикатных и алюмосиликатных минералов. Обменно-поглощенный кальций – основной источник питания растений этим элементом [8,10,11].

Кальций доминирует среди обменных катионов почвенного поглощающего комплекса большинства почв. На его долю приходится 55-85 % катионообменной емкости. Высокая концентрация кальция на участке катионного обмена определяется сравнительно небольшим размером гидратированного иона кальция относительно к его двойному положительному заряду. Концентрация заряда создает предпочтительную адсорбцию катионов Ca^{2+} по сравнению с другими ионами, которые могут присутствовать. Предпочтительная адсорбция присуща в большой степени глинистым минералам с высокой емкостью

катионного обмена, например, монтмориллониту, и менее выражена в таких глинах, как каолинит, которые имеют низкие емкости катионного обмена. В гумусе адсорбция кальция наиболее высока, поскольку он характеризуется повышенной емкостью катионного обмена и, кроме того, некоторые ионы Ca^{2+} могут быть хелатированы органическими соединениями, присутствующим в гумусе [9].

Кальций в значительной мере определяет экологические свойства почвы: создает условия для трансформации органического вещества, образования глинистых минералов, влияет на природу глиногумусовых комплексов, структуру почвы, реакцию почвенного раствора и связанной с ними интенсивности биологических процессов и подвижности питательных веществ [7]. «Являясь весьма сильным коагулятором и вызывая свертывание коллоидов, – писал А.А. Шмук [16], – кальций образует тем самым тот цемент, который склеивает отдельные почвенные агрегаты, сообщая им достаточную прочность и обуславливая желательную для земледелия прочную комковатую структуру... Потеря из почвы кальция, вытеснение его из почвенного поглощающего комплекса другими катионами, в особенности натрием, сейчас же сказывается на изменении физических свойств и структуры почвы в нежелательную сторону. Практический случай таких явлений мы видим иногда при длительном удобрении почв чилийской селитрой... – почва, мало-помалу утрачивает свои хорошие агрономические свойства, теряет структуру и перед земледельцем стоит необходимость искусственного пополнения запасов кальция в почве».

Количество обменного кальция наиболее высокое в черноземах и сероземах и значительно уменьшается в серых лесных почвах. Меньше всего обменного кальция содержится в дерново-подзолистых почвах. Кроме того, в этих почвах поступление катионов кальция в корни растений затруднено вследствие антагонизма ионов H^+ и NH_4^+ , чему способствует систематическое применение физиологически кислых минеральных удобрений, аммонификация, нитрификация, денитрификация и другие биохимические процессы. На таких почвах растения очень отзывчивы на внесение кальциевых удобрений [2].

Концентрация кальция в почвенном растворе обычно регулируется равновесием с обменным кальцием. Она зависит от степени насыщения кальцием почвенного поглощающего комплекса, природы связывания с обменным участком и содержания анионов в растворе [1].

Растения, принадлежащие к различным ботаническим семействам, потребляют разное количество кальция. На формирование 1 т товарной продукции зерновые культуры затрачивают его 0,75-1,25; зернобобовые – 2,0-3,0; корне- и клубнеплоды – 2,75-3,25; овощные культуры – 0,35-0,70 кг [12]. У большинства сельскохозяйственных культур, за исключением бобовых, кальций накапливается преимущественно в вегетативных органах, в результате чего отчуждение его из полей относительно не велико. Однако, в условиях сельскохозяйственного производства, корнеобитаемый слой почвы теряет значительное количество кальция с инфильтрационными атмосферными осадками [4].

Размер потерь кальция, обусловленных вымыванием, зависит от количества атмосферных осадков, валового содержания и гранулометрического состава почвы, и варьирует в пределах 50-350 кг/га. Чем больше кальция содержится в почве, тем легче он теряется вследствие вымывания. На величину его потерь оказывают влияние и вносимые на поля севооборота минеральные удобрения. Аммонийные формы азотных удобрений, способствуют вытеснению обменного кальция из почвенного поглощающего комплекса, и он теряется с просачивающейся водой. На практике внесение 1 ц сульфата аммония влечет за собой потерю кальция, эквивалентную примерно 1 ц карбоната кальция. Калийные удобрения также способствуют, хотя и в меньшей степени, декальцинации почвы. Применение фосфорных удобрений вызывает меньшие потери, поскольку фосфаты химически связываются почвой [5,17].

Термодинамическим показателем, характеризующим способность катионов кальция переходить из твердой фазы почвы в почвенный раствор, служит уровень активности ионов (aCa^{2+}). Существует положительная связь между активностью ионов кальция в почвенном растворе и содержанием его водорастворимой формы. Вместе с тем такая связь с обменной формой наблюдается не всегда.

Важнейшим критерием для оценки плодородия почв является величина кальциевого потенциала – отношение концентрации иона водорода к корню квадратному из концентрации иона кальция. Этот показатель характеризует энергетический уровень перехода ионов кальция из твердой фазы почвы в почвенный раствор. Чем он выше, тем легче ион кальция переходит в почвенный раствор и тем он доступнее растениям [10,11].

Несмотря на свое природное совершенство, черноземы неизбежно эволюционируют в процессе агрогенеза. В связи с этим большой практический и теоретический интерес представляет изучение агробиогеохимической трансформации кальция в агроэкосистемах. Основу устойчивости почвы, как элемента структуры и функционирования биосферы, составляют исторически сложившиеся биохимические циклы и потоки вещества и энергии, которые остаются неизменными при антропогенном воздействии [2,3].

Сравнительный анализ валового содержания кальция в черноземе выщелоченном позволил установить его снижение после трех ротаций зерново-травяно-пропашного севооборота (таблица 30). Без применения удобрений его уменьшение относительно исходного составило 5,25 % в слое 0-20 см и 3,87 % в слое 21-40 см, с их внесением – 9,14 и 9,35 % соответственно. Выявленная тенденция позволяет говорить о снижении запасов кальция в корнеобитаемом слое чернозема выщелоченного при его сельскохозяйственном использовании, причем более активно данный процесс происходит при использовании минеральных удобрений. Последнее, очевидно, обусловлено большим выносом элемента на удобренном фоне с урожаем сельскохозяйственных культур, а также отчасти воздействием минеральных удобрений как химических реагентов на минеральную часть почвы, высвобождением в результате этого кальция и перемещением его в нижние горизонты почвы.

Таблица 30 – Содержание кальция и форм его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Кальций валовой	Кальций			
			водорастворимый	обменный	резервный неэкстрагируемый	органической части почвы
До освоения севооборота	0-20	17500	380	5680	11820	160
	21-40	15500	410	5420	10080	120
После трех ротаций севооборота						
Без удобрений	0-20	16580	340	5520	11060	140
	21-40	14900	370	5340	9560	100
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	15900	450	5900	10000	170
	21-40	14050	470	5620	8430	122

Более полное представление о трансформациях и динамике соединений кальция в почве позволяют получить данные по содержанию различных его форм. Аналитические данные показывают, что в почве наименее всего представлен кальций органических соединений. В пахотном слое 0-20 см его содержалось 140-170 мг/кг, в слое 21-40 см – 100-122 мг/кг. Использование чернозема выщелоченного в зерново-травяно-пропашном севообороте не оказало существенного влияния на количество этой формы. Отмечена лишь тенденция его снижения в варианте без внесения минеральных удобрений, что связано со снижением содержания гумуса.

Наличие водорастворимых форм кальция также характеризуется в черноземе выщелоченном невысокими значениями – 340-470 мг/кг. При этом следует отметить незначительное снижение их количества по сравнению с исходным в варианте без удобрений и увеличение при внесении минеральных удобрений. Последнее, очевидно, обусловлено поступлением элемента в почву в составе фосфорных удобрений, а также отчасти более высокой биологической аккумуляцией в удобренном варианте.

Чернозем выщелоченный отличается высоким содержанием обменно-поглощенного кальция. Этот ион является преобладающим в составе поглощенных оснований данного типа почв – на его долю приходится свыше 70 % от их суммы. В почве 32,5-40,0 % кальция представлено обменно-поглощенной формой. В севообороте без удобрений абсолютное ее содержание снизилось по сравнению с исходным, а с их применением – увеличилось почти на 4,0 %. Доля поглощенного кальция в общем запасе элемента в почве после трех ротаций севооборота повысилась в обоих вариантах.

В черноземе выщелоченном более 60,0 % валового содержания кальция находится в резервном неэкстрагируемом состоянии. Так, в исходной почве доля этой формы составляла 67,5 и 65,0 % в пахотном и подпахотном слоях соответственно. После трех ротаций 11-польного зерново-травяно-пропашного севооборота отмечено как относительное, так и абсолютное снижение резервного кальция. Причем в варианте с применением минеральных удобрений потери были выше и составили 15,4 и 16,4 % в слоях 0-20 см и 21-40 см соответственно относительно исходного содержания, в то время как в неудобренном варианте 6,4 и 5,2 % для тех же глубин. Такая динамика данной формы соединений элемента показывает, что: 1) пополнение запасов соединений кальция, доступных для питания рас-

тений, происходит главным образом за счет их постепенного высвобождения их резервных минеральных форм; 2) использование минеральных удобрений активизирует процессы выветривания и тем самым ускоряет переход нежестрагируемых форм в более лабильные; 3) при сельскохозяйственном использовании чернозема выщелоченного происходит снижение валовых запасов кальция в корнеобитаемых слоях, преимущественно, за счет уменьшения количества его резервных нежестрагируемых соединений.

Наряду с валовым содержанием кальция и его форм анализировалась активность ионов кальция и кальциевый потенциал. Активность ионов принято считать мерой их реального участия в почвенно-химических реакциях. Она представляет собой произведение концентрации иона в растворе на коэффициент его активности. Последний является мерой интенсивности взаимно действующих в растворе сил, зависящих от его концентрации, заряда ионов и степени их гидратации [6]. Величину активности часто используют в термодинамических расчетах, а также для решения ряда задач, в числе которых оценка доступности элементов питания растениям.

Как свидетельствуют данные, представленные в таблице 31, к концу третьей ротации севооборота под воздействием минеральных удобрений возросла активность ионов кальция. Это, очевидно, обусловлено в первую очередь увеличением содержания водорастворимых форм этого элемента. Косвенным подтверждением тому является пропорциональное изменение этих двух показателей: в почве варианта с применением минеральных удобрений как количество водорастворимого кальция, так и его активность возросли в 1,3 раза.

Таблица 31 – Активность ионов кальция и величина кальциевого потенциала чернозема выщелоченного

Вариант	Слой почвы, см	pH _{водн.}	Кальций				Кальциевый потенциал
			активный		водорастворимый	обменный	
			pCa	aCa^{2+} мг-экв./л	мг-экв./100 г		
До освоения севооборота	0-20	6,5	3,17	1,35	1,70	27,6	5,32
	21-40	6,6	3,10	1,59	1,85	26,7	5,41
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	6,3	3,05	1,78	2,25	29,5	5,92
	21-40	6,4	3,00	2,00	2,35	28,1	6,16

Вместе с тем следует отметить, что активность иона может служить показателем «мгновенной» (в данный момент) обеспеченности растений элементом питания. В общей форме она оценивается с помощью потенциала элемента питания (nutrient potential) – энергетической характеристикой, определяемой только для равновесных систем «твердая фаза – почвенный раствор». Результаты исследований свидетельствуют, что эта величина в удобренном варианте также превышала таковую в неудобренном, однако различия незначительны – всего в 1,1 раза [13-15].

Выводы. Кальциевый режим чернозема выщелоченного изменяется в процессе агрогенеза. Длительное использование почвы в зерново-травяно-пропашном севообороте сопровождается снижением валового содержания элемента, преимущественно в результате сокращения количества резервных неэкстрагируемых соединений. Применение минеральных удобрений на полях севооборота способствует активизации этого процесса. Систематическое внесение удобрений способствует повышению содержания водорастворимых и обменно-поглощенных форм кальция в почве, а также активности Ca^{2+} и кальциевого потенциала. С целью обеспечения благоприятного для сельскохозяйственных культур кальциевого режима почв и сохранения его общих запасов в черноземе выщелоченном в условиях агрогенеза необходимо возмещение потерь элемента путем внесения кальциевых удобрений и кальцийсодержащих мелиорантов.

Литература

1. Барбер С.А. Биологическая доступность питательных веществ в почве / С.А. Барбер. – М.: Агропромиздат, 1988. – 376 с.
2. Ковда В.А. Основы учения о почвах / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1973. Книга первая – 448 с.; книга вторая – 468 с.
3. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1985.-264 с.
4. Коробской Н.Ф. Черноземы Западного Предкавказья. Экологические проблемы и пути их решения / Н.Ф. Коробской. – Краснодар: КубГАУ, 2005. – 382 с.
5. Кук Дж. У. Регулирование плодородия почвы / Дж. У. Кук. – М.: Колос, 1970.-520 с.
6. Орлов Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. – М.: МГУ, 1985. – 376 с.
7. Панов Н.П. Химический состав почв / Н.П. Панов, В.Г. Мамонтов, И.С. Кауричев, Н.Н. Игнатьев / Общее почвоведение. – М.: КолосС, 2006. С. 141-178.

8. Смирнов П.М. Методы химической мелиорации почв. Известкование и гипсование / П.М. Смирнов / Агрохимия. – М.: Колос, 1975. С. 114-152.
9. Томпсон Л.М. Почвы и их плодородие / Л.М. Томпсон, Ф.Р. Трой. – М.: Колос. 1982. –462 с.
10. Шеуджен А.Х. Кальций и методы его определения / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, К.П. Азарян, З.Н. Ткаченко. – Краснодар: КубГАУ, 2003. – 92 с.
11. Шеуджен А.Х. Кальций – дефицитный элемент питания растений на почвах рисовых полей / А.Х. Шеуджен / Энтузиасты аграрной науки. – Краснодар: КубГАУ. 2005. Вып. 4. С. 136-141.
12. Шеуджен А.Х. Агрохимические основы применения удобрений / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2013. – 572 с.
13. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений кальция в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Ф. Бочко, Л.М. Онищенко, Т.Н. Бондарева, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2015. №105(01) – Режим досту na://[http://http://ej.kubagro.ru/2015/01/pdf/035/pdf](http://ej.kubagro.ru/2015/01/pdf/035/pdf).
14. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
15. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 3. Экспериментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 755 с.
16. Шмук А.А. Динамика режима питательных веществ в почве. Труды Т. 1 // А.А. Шмук. – М.: Пищепромиздат, 1950. – 372 с.
17. Шильников И.А. Потери элементов питания растений в агробио-геохимическом круговороте веществ и способы их минимизации / И.А. Шильников, В.Г. Сычев, А.Х. Шеуджен, Н.И. Аканова, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – М.: ВНИИА, 2012. – 351 с.

7.2.2 Магний

Миллионные доли процента магния в планктоне, входящие в состав хлорофильного комплекса, в конце концов, регулируют главную часть кислородной функции живого вещества – создание свободного кислорода планеты, состав ее атмосферы.

В.И. Вернадский, 1934

Магний широко распространен в природе. Кларк его в земной коре равен 2,35 %, литосфере – 2,10, водах Мирового океана – $1,4 \cdot 10^{-1}$, почве – 0,6, растениях – $7 \cdot 10^{-2}$ %; биофильность – $2 \cdot 10^{-1}$, талассофильность – $6 \cdot 10^1$, технофильность – $1 \cdot 10^6$.

Среднее валовое содержание магния в подзолистых почвах составляет 0,5 %; серых лесостепных – 0,7 %; черноземах – 0,9; сероземах – 1,5 %. В кубанских черноземах оно находится в пределах 0,8-1,1 % [4,7,9]. В пределах каждого типа почвы колебания содержания магния бывают значительными и связаны они с минералогическим составом материнской породы. Почвы, сформированные на породах, где преобладающим минералом является каолинит, бедны магнием, а если наибольшее распространение имеет монтмориллонит – богаты им [4,5,10].

Миграция магния в нижние горизонты почвенного профиля – важная в агрономическом отношении специфическая его особенность. Этот процесс в зоне с промывным водным режимом почв, как правило, значительно превалирует над биологической его аккумуляцией. По выносу из верхних горизонтов почвы магний обычно стоит на первом месте среди химических элементов, уступая лишь в некоторых случаях железу. Почвы зон с непромывным водным режимом характеризуются большим абсолютным и относительным количеством магния и меньшей его подвижностью по почвенному профилю [2,6,8].

Валовой магний почвы включает четыре формы: водорастворимый; обменный; необменный и органической части. Доля этих форм составляет соответственно 0,5-1,0; 5,0-10,0; 90,0-95,0 и 0,5-2,0 % от валового его запаса в почве [1,4].

Содержание водорастворимого магния в почве подвержено значительным изменениям в зависимости от режима увлажнения. Его количество в почвенном растворе в зонах достаточного увлаж-

нения незначительно – 12-18 мг/л. В условиях сухого климата на засоленных почвах и при подъеме грунтовых вод к поверхности концентрация этого элемента в почвенном растворе достигает 48-192 мг/л, а магниевые соли могут отлагаться на почвенных частицах в твердом состоянии в виде серых налетов [3,6].

Магний почвенного раствора находится в равновесии с обменно-поглощенным. Обычно 15-25 % обменных оснований в почвенном поглощающем комплексе представлено ионами магния. Избыток этого элемента для растений создается в том случае, если на обменную форму приходится более 40-60 % емкости катионного обмена; недостаток – при его доле в составе почвенного поглощающего комплекса менее 5-10 % [15]. Обменного магния, как правило, меньше, чем обменного кальция, однако в почвах, сформированных на серпентинитах, он может быть преобладающим обменным катионом. В доломите одинаковое содержание кальция и магния; в других известковых породах магний уступает. Сильно выщелоченные, а также почвы легкого гранулометрического состава характеризуются недостаточным уровнем содержания обменного магния, поэтому сельскохозяйственные культуры нуждаются во внесении магниевых удобрений [5,9].

Магний необменный представлен в почве различными минералами. Он входит в состав кристаллической решетки первичных минералов, главным образом, силикатов и алюмосиликатов, а из вторичных – хлоритов, монтмориллонита, гидрослюд и смектитов. Магний, входящий в состав силикатов и алюмосиликатов, прочно связан и практически не используется растениями. В процессе выветривания этих минералов он переходит в доступные для растений формы. В то же время такие магнийсодержащие минералы, как магнезит, доломит, брусит и сульфат достаточно хорошо растворимы, легко подвергаются физическому и химическому выветриванию, поэтому их содержание в почве значительно ниже, чем в литосфере. Сульфат магния, обладая высокой растворимостью (33,7 г в 100 мл воды при 20°C), почти не встречается в почве. В почвах, подверженных водной и ветровой эрозии, высвобождение магния из минералов за вегетационный период обычно не покрывает потребность растений в этом элементе [4,5,10].

Магний содержится в живой фазе почвы и в остатках биоценоза. Вследствие разложения органических соединений он переходит в почвенный раствор и поглощенное состояние. В целом содержание магния, связанного с живым и мертвым органическим веществом,

составляет весьма небольшую часть – 1-2 % от его валового количества. Содержание в почве доступного растениям магния отражает соотношение между потерями вследствие вымывания и выноса урожаями культур и поступлением в результате освобождения из обменных форм и внесения магниевых удобрений.

Затраты магния на формирование 1 т товарной продукции зерновых культур (пшеница, рожь, ячмень) составляют 2,1-3,5 кг; крупяных (кукуруза, рис, гречиха, сорго) – 1,8-4,5 кг; зернобобовых (горох, фасоль, люпин, соя, вика, кормовые бобы) – 2,9-7,9 кг; прядильных и масличных (хлопчатник, лен, конопля, подсолнечник) – 4,7-11,9 кг; клубне- и корнеплодов (картофель, свекла, брюква, турнепс) – 0,7-2,7 кг; овощных (огурцы, томаты) – 0,2-0,6 кг; кормовых трав – 2,0-4,6 кг [11].

Потребность растений в магнии зависит от культуры и уровня урожая. Значительное количество магния из почвы выносят свекла (60-70 кг/га) и картофель (40-60 кг/га), меньше – зерновые (10-15 кг/га) и кормовые злаковые травы (10-12 кг/га). Промежуточное место по выносу занимают бобовые травы (30-50 кг/га). В зависимости от вида севооборота с урожаем выносятся ежегодно 15-50 кг/га магния [6].

Ежегодные суммарные потери магния из почвы составляют 30-80 кг/га, в т. ч. в результате вымывания – 15-30 кг/га. Для восполнения потерь этого элемента из почвы и с целью поддержания его содержания на уровне, обеспечивающем потребности сельскохозяйственных культур, необходимо ежегодно вносить от Mg_{30-40} (под зерновые) до Mg_{60-70} (под кукурузу, картофель, рис, корнеплоды). На слабо обеспеченных магнием почвах эту норму следует увеличивать на 15-20 % [2,3].

«В отношении кальция и магния установилось предвзятое утверждение, – писал А.А. Шмук [14], – растения почти никогда не обнаруживают в нормальных условиях своего роста признаков голодания по отношению к этим, безусловно, необходимым элементам питания растений... Поэтому, несмотря на то, что растения большей частью действительно хорошо обеспечены кальцием, магнием и калием в почвах, изучение форм этих соединений, динамики процессов, при которых они изменяются, а также учет агрохимического значения косвенных влияний, которые вызывает их динамика, заслуживает особого внимания».

Недостаток магния в питании растений может быть вызван не только низким содержанием его в почве, но и с проявлением

антагонизма с ионами калия и кальция. Все это способствует активизации исследований в области изучения режима магния в почве в условиях агрогенеза.

Валовое содержание магния в черноземе выщелоченном до начала эксперимента составляло 1,03 и 1,05 % соответственно в пахотном и подпахотном слое. Это указывает на наметившуюся тенденцию миграции элемента в нижележащие горизонты вследствие выщелачивания (таблица 32).

Таблица 32 – Содержание магния и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Магний валовой	Магний			
			водорастворимый	обменный	необменный	органической части почвы
До освоения севооборота	0-20	10300	70	894	9289	47
	21-40	10500	65	810	9585	40
После трех ротаций севооборота						
Без удобрений	0-20	10100	64	858	9135	43
	21-40	10300	58	792	9414	36
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	10030	78	912	9032	48
	21-40	10250	77	834	9298	41

Магний в почве представлен главным образом необменной формой, количество которой оценивается в 90,18 и 91,29 % от валовых его запасов. Обменные формы магния составляют 8,68 и 7,71 % соответственно в пахотном и подпахотном слое. На долю водорастворимой и органической формы приходится менее 1 % – 0,62 и 0,68 и 0,46 и 0,38 % соответственно.

За три ротации 11-польного севооборота валовые запасы магния в почве, на которой культуры выращивались без удобрений, сократились на 0,02 % (200 мг/кг), с удобрениями – 0,03 и 0,02 % (300 и 200 мг/кг). Интенсивнее магний выщелачивался из пахотного слоя почвы.

Претерпело изменение и содержание в почве форм магния. В севообороте без удобрений доля необменного магния в общем фонде элемента возросла по сравнению с исходным на 0,27 % в пахотном и 0,11 % подпахотном слое почвы при том, что абсолютное содержание

уменьшилось. Количество водорастворимого, обменного и магния органической части почвы снизилось. Уменьшение количества водорастворимого (на 0,05 и 0,06 %) и обменного (на 0,18 и 0,02 %) магния обусловлено его потреблением растениями. Доля магния органической части почвы уменьшается в результате постоянно снижающихся урожаев, а следовательно, и количества органических остатков.

В севообороте с использованием минеральных удобрений отмечена иная динамика соединений магния в почве. Количество обменного магния уменьшилось по сравнению с исходным на 0,13 % в пахотном и 0,58 % подпахотном слое почвы. Содержание обменного магния увеличилось соответственно на 0,43 и 0,41 %, водорастворимого – на 0,13 и 0,10 %, органической части почвы – на 0,02 и 0,02 %.

Продуктивность севооборота с минеральной системой удобрения существенно выше, чем без их применения. Следовательно, вынос элемента урожаем несоизмеримо больше. Наличие магния в качестве примеси в минеральных удобрениях не компенсировало сокращение его валовых запасов. Увеличение содержания водорастворимого и обменного магния, несмотря на больший его вынос с урожаем, обусловлено действием удобрений на физико-химические свойства почвы, а именно, подкислением почвенного раствора. В кислой среде повышается растворимость магниевых соединений, что усиливает переход магния из минералов (необменная форма) в обменную и водорастворимую форму. Увеличение содержания магния органической части почвы обусловлено большим количеством растительных остатков [12,13].

Выводы. В процессе агрогенеза изменяется магниевый режим чернозема выщелоченного, что выражается в сокращении валовых запасов элемента. И хотя за три ротации севооборота изменения незначительные, наметившаяся тенденция будет усиливаться, т. к. вносимые азотно-фосфорно-калийные удобрения практически не содержат примеси магния. Систематическое применение удобрений ведет к подкислению почвенного раствора, что сопровождается повышением растворимости соединений магния, вследствие чего количество его водорастворимых и обменных форм увеличивается. Однако существует опасность их выщелачивания из пахотного слоя почвы. Выявленные закономерности в изменении магниевых режимов чернозема выщелоченного диктуют необходимость оптимизации системы удобрения культур севооборота с обязательным включением в нее магниевых удобрений.

Литература

1. Авдонин Н.С. Научные основы применения удобрений / Н.С. Авдонин. – М.: Колос, 1972. – 320 с.
2. Аканова Н.И. Потери питательных элементов растений / Н.И. Аканова, И.А. Шильников, А.Х. Шеуджен, В.Г. Сычев, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 502 с.
3. Кожуро И.А. Содержание магния / И.А. Кожуро, М.Ю. Швядайте, А.И. Антанайтис, Л.П. Крегждайте, В.В. Лапа, Э.И. Раудвяли, А.М. Сиренди / Оптимальные параметры плодородия почв. – М.: Колос, 1984. С. 162-171.
4. Магницкий К.П. Магниевые удобрения / К.П. Магницкий. – М.: Колос, 1967. – 200 с.
5. Мазаева М.М. Магниевое питание растений и магниевые удобрения: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук / М.М. Мазаева. – М.: НИУИФ, 1967. – 42 с.
6. Прокошев В.В. Магниевые удобрения в интенсивном земледелии / В.В. Прокошев, О.В. Неугодова, Ю.А. Смирнов, З.И. Государева. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1987. – 53 с.
7. Симакин А.И. Удобрение, плодородие почв и урожай / А.И. Симакин. – Краснодар: Краснодар. кн. изд-во, 1988. – 276 с.
8. Шеуджен А.Х. Магниевое питание риса и эффективность применения магниевых удобрений / А.Х. Шеуджен, В.В. Прокопенко. – Краснодар: Блиц, 1999. – 96 с.
9. Шеуджен А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГИРИПП «Адыгея», 2003.-1028 с.
10. Шеуджен А.Х. Агробιοгеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ. 2010. – 877 с.
11. Шеуджен А.Х. Агροхимические основы применения удобрений / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2013.-572 с.
12. Шеуджен А.Х. Агροхимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
13. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений магния в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Л.М. Онищенко, Т.Ф. Бочко, И.А. Лебедевский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Научный журнал КубГАУ. 2015. № 112(08) <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/124.pdf>.
14. Шмук А.А. Динамика режима питательных веществ в почве. Труды Т. 1 // А.А. Шмук. – М.: Пищепромиздат, 1950. – 372 с.
15. Martin J.P. Influence of Exchangeable Ca and Mg and of Percentage Base Saturation on Growth of Citrus Plants / J.P. Martin, A.H. Page // Soil Sci. 1969. № 107. -P. 39-46.

7.2.3 Сера

В почве сера находится главным образом в виде сульфатов; там она окисляется микроорганизмами и образует соли серной кислоты. Заметное накопление серы в почве наблюдается лишь в условиях пустынного климата. Здесь серой богаты грунтовые воды и растения. Повышенные содержания серы характерны для ландшафтов, образовавшихся в вулканических областях, а также на участках сульфидных и угольных месторождений, богатых пиритом и марказитом. Ландшафты влажных зон и областей, в которых преобладают процессы выноса элементов, как правило, бедны серой.

**И.К. Вадковская, К.И. Лукашев,
1981**

Сера относится к весьма распространенным в природе химическим элементам. Кларк ее в земной коре равен 0,10 %, литосфере – $9 \cdot 10^{-2}$, водах Мирового океана – $8,8 \cdot 10^{-2}$, почве – $8,5 \cdot 10^{-2}$, растениях – $5 \cdot 10^{-2}$ %; биофильность – 1, то есть близка к анионогенным элементам – кислороду (1,5), хлору (1,1), бору (0,83), фосфору (0,75), бромю (0,71), талассофильность – $1,8 \cdot 10^1$, технофильность – $4 \cdot 10^8$. В природе встречается около 40 серосодержащих минералов группы сульфидов и почти столько же сульфатов.

Сера второй после азота протеиногенный элемент, потребляемый растениями из почвы. При ее дефиците нарушается азотный обмен в растении, снижаются интенсивность продукционного процесса и урожай [16,18].

Сере, как элементу питания растений, долгое время не уделялось должного внимания, так как считалось, что потребность сельскохозяйственных культур полностью обеспечивается, если не за счет почвенных запасов, то за счет поступления ее в почву с атмосферными осадками и средствами химизации. Однако на рубеже XX-XXI столетий во многих странах зафиксированы проявления дефицита серы в питании сельскохозяйственных растений. Это связывают с повсеместным повышением продуктивности агроценозов и соответственно увеличившимся выносом элемента, снижением поступления его в почву в результате замены простых серосодер-

жащих удобрений сложными концентрированными, очищенными от серы, а также с повышенным вниманием к охране окружающей среды от промышленных выбросов в атмосферу. Поэтому наблюдение за обеспеченностью посевов серой, особенно при использовании интенсивных технологий выращивания сельскохозяйственных культур, становится все более актуальным [2,4,7].

Валовое содержание серы в почвах изменяется в широких пределах – от 0,01 до 2,05 %. Меньше всего содержат ее дерново-подзолистые почвы (0,01-0,1 %) и сероземы (0,05-0,07 %), значительно больше – солонцы (0,1-2,1 %). Черноземы (0,2-0,5 %) и каштановые почвы (0,1-0,3 %) занимают в этом ряду промежуточное положение [1,9,19].

Содержание серы в почвах зависит от характера почвообразования, определяемого минералогическим составом почвообразующих пород и рельефа, обуславливающего направление геохимического стока, определяющих современное перемещение химических элементов в зоне гипергенеза [25].

Сера в почвах находится в минеральной и органической формах. Соотношение их зависит от типа почвы и глубины залегания генетического горизонта. Встречается в почвах и элементарная сера; она может быть продуктом трансформации серосодержащих соединений или унаследована от материнской породы. В верхних горизонтах почвы на долю серы органических соединений приходится до 70-80 % ее валового количества. Доля ее минеральной формы нарастает по мере уменьшения содержания гумуса, повышения минерализации грунтовых вод, накопления гипса и карбонатов.

Неорганическая сера в почве представлена сульфатами почвенного раствора и адсорбированными на почвенных коллоидах и серой минералов. Сульфаты – наиболее доступная растениям форма серы, составляют 10-25 % от ее валового содержания. Органическую серу подразделяют на восстановленную, серу эфиров серной кислоты и связанную с углеродом, а также не идентифицированных органических соединений. К числу серосодержащих соединений органического вещества почвы относятся и аминокислоты: цистин, цистеин, метионин, а также витамины тиамин и биотин [1,12,18].

Трансформация соединений серы в почве обусловлена следующими процессами: минерализацией, иммобилизацией, окислением и восстановлением. В почву она поступает в форме органических со-

единений остатков биоценоза, а также с атмосферной пылью и «кислотными дождями» в виде сульфат-ионов. При агроэкологической оценке серы в почвах наряду с валовым ее содержанием учитывают подвижную (0,2 н КС1 вытяжка), минеральную (0,2 н НС1 вытяжка) и резервную (органическая + не извлеченная 0,2 н НС1) формы.

Подвижные формы соединений серы является наиболее доступной для растений. Почвы по содержанию доступной растениям подвижной серы делятся на три группы [9,17,27]:

- 1) низкообеспеченные – менее 6 мг/кг;
- 2) среднеобеспеченные – 6–12;
- 3) высокообеспеченные – более 12 мг/кг.

Запасы минеральной формы серы в почвах пополняются при минерализации органического вещества. Интенсивность сульфофикации способности почвы (процесс окисления сероводорода и элементарной серы до серной кислоты) зависит от биологической активности, аэрации, температуры, рН, влажности, а также от соотношения С : S. При соотношении С : S < 200 в почвах осуществляется исключительно процесс минерализации серы, при С : S > 200 происходит ее иммобилизация и связывание органическим веществом [12,19].

Ежегодные потери серы из почв в условиях промывного водного режима составляют 40-60 кг/га и зависят от рН и гранулометрического состава почвы, рельефа, количества осадков и выращиваемой культуры [24].

Затраты серы на формирование 1 т урожая товарной продукции зерновых культур (пшеница, ячмень, овес, кукуруза, рис) составляют 1,5-3,2 кг, зернобобовых (горох, фасоль, соя) – 4,4-15,0, клубне- и корнеплодов (картофель, свекла, брюква, турнепс) – 0,4-1,6, овощных (капуста, лук, огурцы, томаты) – 0,3-1,3, кормовых бобовых трав – 1,6-3,8 кг. Количество серы, отчуждаемой с поля сельскохозяйственными культурами, в зависимости от содержания этого элемента и величины урожая, колеблется от 10-20 до 110-135 кг/га [8,20]. Следовательно, при интенсификации земледелия в биологический круговорот включается значительное количество серы, что усиливает вероятность проявления дефицита этого элемента в питании растений.

Первые исследования по изучению валового содержания серы в почвах Кубани были выполнены Я.Я. Витынем [3] и Н.З. Имшенецким [5]. Яркой страницей в изучении содержания серы и форм ее соединений в почвах явились оригинальные работы А.А. Шмука. В

своим труде «Динамика режима питательных веществ в почве» [26] он дал агроэкологическую оценку этому элементу: «Общие запасы серы в почве по сравнению с фосфором и особенно азотом – невелики и вполне вероятно, что в известных случаях растения могут быть недостаточно обеспечены этим источником питания. Однако, ... ни агрохимические исследования, ни практика хозяйственной жизни не придавали вопросу о сере в почвах и о сере как удобрении достаточного внимания, вместе с тем мы будем иметь случай в дальнейшем познакомиться с тем, что применение серы как удобрения весьма часто дает благоприятные результаты». Об этом ученый написал в 1932 г. после десятилетнего изучения почв Кубани.

Особенно большой размах изучение агрохимии серы приобрело во второй половине XX столетия. Целый ряд фундаментальных исследований в этой области были выполнены Е.В. Тонконоженко [13,14], Ха Куанг Хай [15], В.Н. Слюсаревым [10,11] и А.Х. Шеудженом [16,18]. Результаты этих работ обобщены в монографиях «Сера в питании и продуктивности риса» [18] и «Сера в почвах Северо-Западного Кавказа (агроэкологические аспекты)» [11].

Результаты исследований показали, что валовое содержание серы в профиле чернозема выщелоченного ниже кларка в 3–4 раза. Основная часть серы здесь представлена недоступной для растений резервной формой, доля которой составила 76,8–93,7 % от валового содержания. Распределение по почвенному профилю валового содержания серы и ее резервной формы неравномерное – с увеличением глубины залегания горизонта оно постепенно уменьшается. При этом в почвообразующей породе их количество в 2 раза ниже, чем в пахотном горизонте (таблица 33).

Таблица 33 – Содержание и распределение соединений серы по профилю чернозема выщелоченного, мг/кг [11]

Горизонт	Сера валовая	Сера		
		подвижная	минеральная	резервная
A _п	334	2,7	20,8	313
A	302	3,0	22,8	279
AB ₁	252	2,3	31,6	220
AB ₂	238	2,2	36,7	201
B	224	1,9	42,2	182
C	198	1,9	45,7	152

Содержание доступной для растений подвижной серы в почвенном профиле невысокое. Максимальное ее количество сосредоточено в пахотном и подпахотном горизонте. Отмечено снижение содержания подвижной серы вниз по профилю почвы. В почвообразующей породе количество доступной серы в 1,4 раза меньше, чем в горизонте A_{II} , а в подпахотном, наоборот, на 11,1 % больше. Это указывает на выщелачивание элемента за пределы пахотного слоя почвы.

Большое значение для питания растений имеет содержание в почве минеральной серы. Распределение ее по почвенному профилю чернозема выщелоченного характеризуется постепенным увеличением к почвообразующей породе. Содержание минеральной серы в материнской породе на 54,5 % выше, чем в пахотном горизонте почвы.

Сера – необходимый и незаменимый элемент питания растений. Запасы серы в почве пополняются за счет поступления ее с минеральными удобрениями, которые применяются для обеспечения растений наиболее дефицитными элементами питания – азотом, фосфором и калием. При этом сера, входящая в состав удобрений, обычно не рассматривается как элемент питания, и всю прибавку урожая относят на азот, фосфор и калий. Результаты исследований показали, что на естественном фоне общее содержание серы в черноземе выщелоченном по слоям 0–20 и 21–40 см составило 334 и 302 мг/кг (таблица 34). После трех ротаций севооборота в почве без внесения удобрений ее валовое содержание уменьшилось соответственно на 8,7 и 6,6 %. Ежегодное внесение минеральных удобрений, хотя и замедляло по сравнению с неудобренным севооборотом обеднение пахотного и подпахотного слоя почвы серой, ее количество все же по сравнению с исходными показателями уменьшалось на 6,6 % в 0–20 см и 2,6 % – в 21–40 см слое. Повышенное содержание общей серы в почве на варианте с удобрениями объясняется тем, что в качестве фосфорного удобрения использовался суперфосфат, содержащий примерно 13 % этого элемента. Аналогичная тенденция наблюдалась и в отношении содержания в почве подвижной, минеральной и резервной форм серы.

За три ротации севооборота количество резервной формы серы в черноземе выщелоченном снизилось. Интенсивнее этот процесс шел в севообороте без удобрений. При этом в пахотном и подпахотном слое почвы доля этой формы в общем фонде элемента практически одинакова – 94,4 и 93,9 % и 93,6 и 93,2 % в неудобренном и удобренном севообороте. Содержание подвижной серы снижалось

соответственно на 0,3 и 0,5 мг/кг почвы в пахотном и подпахотном слое, а минеральной – 1,6 и 2,3 мг/кг и 3,7 и 4,8 мг/кг. При этом их доля в общем фонде элемента везде была практически одинаковой. Наибольшее их содержание на всех вариантах отмечено в подпахотном 21–40 см слое почвы. Это объясняется тем, что сульфат ион (SO_4^{2-}) слабо поглощается почвой, что приводит к вымыванию его в нижележащие горизонты. А в условиях агрогенеза накладывается еще такой антропогенный фактор, как внесение удобрений.

Таблица 34 – Содержание валовой серы и трансформация ее соединений в черноземе выщелоченном в условиях агрогенеза, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Сера валовая	Сера		
			подвижная	минеральная	резервная
До освоения севооборота	0-20	334	2,7	20,8	313
	21-40	302	3,0	22,8	279
После трех ротаций севооборота					
Без удобрений	0-20	305	2,2	17,1	288
	21-40	282	2,5	18,0	264
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	312	2,4	19,2	293
	21-40	294	2,7	20,5	274

Известно, что для достаточного обеспечения сельскохозяйственных культур подвижной серой в почве она должна присутствовать в количестве не менее 10 кг/га [6]. Дефицит серы для растений наблюдается при содержании в почве подвижной ее формы менее 6 мг/кг. В черноземе выщелоченном Западного Предкавказья количество подвижной формы в среднем составило 2,58 мг/кг, что соответствует низкой обеспеченности почвы этим элементом.

В некоторой степени наметившаяся тенденция снижения содержания подвижной серы в черноземе выщелоченном обусловлена уменьшением объемов и изменением ассортимента применяемых удобрений, а также резким сокращением серосодержащих средств защиты растений. В 1 т навоза КРС содержится 1 кг серы (SO_3), или 0,6–0,15 %, сульфате аммония – до 24,0 %, сульфате калия – до 18,0 %, гипсе – до 18,6 %, фосфогипсе – до 22,0 %, простом суперфосфате – до 13,0 %. Слабое использование сульфата аммония в качестве азотного удобрения связано с подкисляющим его действием на

почву. Поэтому при его внесении, особенно на почвах с повышенной кислотностью, необходимо предусматривать известкование [21,23].

Выводы. Чернозем выщелоченный Западного Предкавказья характеризуется невысоким содержанием валовой серы. Основная часть ее приходится на резервную форму и недоступна растениям. Доля подвижной и минеральной серы значительно меньше и составляет в среднем по почвенному профилю соответственно 0,8–1,0 и 6,2–23,1 % от валового ее количества. Для поддержания в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья оптимального содержания доступной для растений серы и предотвращения обеднения почвы за счет выноса с урожаем и вымывания из верхних горизонтов необходимо внесение серных удобрений.

Литература

1. Авдонин Н.С. Научные основы применения удобрений / Н.С. Авдонин. – М.: Колос, 1972. – 320 с.
2. Аристархов А.Н. Агрохимия серы / А.Н. Аристархов. – М: ВНИИА, 2007. – 272 с.
3. Витынь Я.Я. Почвы района табачных плантаций в Кубанской области и на Черноморском побережье Кавказа / Я.Я. Витынь. – Санкт-Петербург, 1914. – 54 с.
4. Власюк П.А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений / П.А. Власюк. – Киев: Наукова думка, 1969. – 516 с.
5. Имшенецкий И.З. Почвы и грунты Черноморско-Кубанской железной дороги / И.З. Имшенецкий // Известия по опытному делу Дона и Северного Кавказа. – Ростов-на-Дону, 1924. Вып. 4. С. 3-34.
6. Кореньков Д.А. Продуктивное использование минеральных удобрений / Д.А. Кореньков. – М: Россельхозиздат, 1985. – 219 с.
7. Маслова И.Я. Сера / Агрохимические свойства почв и эффективность удобрений / И.Я. Маслова, Л.А. Изерская. – Новосибирск: Наука, 1989. С. 71-82.
8. Панасин В.И. Сера и урожай / В.И. Панасин, В.Д. Слобожанинова, Н.В. Лопатина. – Калининград: ГП «КГТ», 1999. – 150 с.
9. Пейве Я.В. Биохимия почв / Я.В. Пейве. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 422 с.
10. Слюсарев В.Н. Сера в дерново-карбонатных и бурых лесных почвах Северо-Западного Кавказа и потребность в серных удобрениях: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В.Н. Слюсарев. – Краснодар, 1986.-22 с.
11. Слюсарев В.Н. Сера в почвах Северо-Западного Кавказа (агроэкологические аспекты) / В.Н. Слюсарев. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – 230 с.
12. Смирнов Ю.А. Повышение урожаев и качества сельскохозяйственной продукции при использовании серных удобрений / Ю.А. Смирнов. – М: ВНИИТЭСХ, 1985. – 61 с.

13. Тонконоженко Е.В. Регулирование содержания серы в почвах как элемент оптимизации плодородия почв / Е.В. Тонконоженко // Тез. докл. VII Делегатского съезда Всесоюзного общества почвоведов. Часть 3. – Ташкент, 1985. С. 172.
14. Тонконоженко Е.В. Обеспеченность черноземов Кубани серой / Е.В. Тонконоженко // Тр. КубСХИ. 1988. Вып. 286 (314). С. 26-31.
15. Ха Куанг Хай. Подвижная сера в лесостепных почвах Северо-Западного Предкавказья / Ха Куанг Хай II Тр. КубСХИ, 1983. Вып. №226(254). С. 118-121.
16. Шеуджен А.Х. Применение серных удобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, А.Л. Беспалов // Рисоводство. 2001. № 1. С. 70-74.
17. Шеуджен А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
18. Шеуджен А.Х. Сера в питании и продуктивности риса / А.Х. Шеуджен, В.В. Прокопенко, А.Л. Беспалов, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2004. – 72 с.
19. Шеуджен А.Х. Агрохимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.
20. Шеуджен А.Х. Агрохимические основы применения удобрений / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2013. – 572 с.
21. Шеуджен А.Х. Валовое содержание серы и формы ее соединений в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, В.Н. Слюсарев, Т.Н. Бондарева, О.А. Гуторова, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Плодородие. 2014. № 4. С. 29-30.
22. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015.-232 с.
23. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения удобрений на содержание серы и трансформацию ее соединений на черноземе выщелоченном / А.Х. Шеуджен, В.Н. Слюсарев, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, О.А. Гуторова, Т.Н. Бондарева // Тр. КубГАУ, 2015. № 2(53). С. 173-177.
24. Шильников И.А. Потери элементов питания растений в агробиогеохимическом круговороте веществ и способы их минимизации / И.А. Шильников, В.Г. Сычев, А.Х. Шеуджен, Н.И. Аканова, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – М.: ВНИИА, 2012. – 351 с.
25. Шильцева Г.В. Тяжелые металлы и сера в почвах Валаамского архипелага / Г.В. Шильцева, Р.М. Морозова, П.Ю. Литинский. – Петрозаводск: Карел. НУ РАН, 2008. – 109 с.
26. Шмук А.А. Динамика режима питательных веществ в почве. Труды Т. 1 // А. А. Шмук. – М.: Пищепромиздат, 1950. – 372 с.
27. Martin J.P. Influence of Exchangeable Ca and Mg and of Percentage Base Saturation on Growth of Citrus Plants / J.P. Martin, A.H. Page // Soil Sci. 1969. № 107.-P. 39-46.

7.2.4 Железо

Благодаря широкой распространенности, способности менять валентность, комплексироваться с органическим веществом, железо играет особенную роль в формировании почвенного профиля. ... В то же время вопросу влияния железа на плодородие почв не уделялось столько внимания. Традиционно агрохимические исследования ограничиваются анализом участия железа в питании растений (борьба с хлорозом). ... Представляется, что роль железа в формировании агрономических свойств почв можно рассматривать гораздо шире...

Ю.Н. Водяницкий, 1989

Железо относится к числу сидерофильных элементов (типичных металлов), имеющих химическое сродство к углероду (карбонаты), фосфору (фосфаты), сере (сульфаты, сульфиды) и кремнию (силикаты). При окислительном выветривании и почвообразовании образуются и накапливаются в биосфере минералы железа, преимущественно оксиды и гидроксиды, слаборастворимые и геохимически относительно инертные. Железо – один из главных компонентов литосферы. Его кларк в земной коре равен 4,2 %, литосфере – 5,1, водах Мирового океана – $5 \cdot 10^{-6}$, почве – 3,8 %, растениях – $2 \cdot 10^{-2}$; биофильность – $2 \cdot 10^{-2}$, талассофильность – $4,3 \cdot 10^{-7}$, технофильность – $6 \cdot 10^8$ [11].

Валовое содержание железа в почвах колеблется в широких пределах – от 0,05 до 15 %; ожелезненные почвы и почвенные горизонты или конкреции могут содержать 20 и даже 60 % железа [3-5]. Минимальное содержание валового железа – 0,05-0,5 %, – свойственно торфяным и песчаным почвам. В черноземах и серых лесных почвах его содержится 3-6 %, сероземах и каштановых – 5-6, бурых лесных – 4-6, солонцах – 5-7, красноземах – 8-15 % [9,10,12]. В кубанских черноземах оно находится в пределах 4,0-8,1 % [8,12].

По валовому содержанию железа почвы делятся на семь групп (таблица 35; [5]).

Таблица 35 – Группировка почв по валовому содержанию железа

Степень ожелезненности	Содержание железа, %
Очень низкая	< 0,5
Низкая	0,5-1,0
Умеренно низкая	1,1-3,0
Средняя	3,1-5,0
Умеренно высокая	5,1-10,0
Высокая	10,1-30,0
Очень высокая	> 30,0

Роль железа в почвообразовании многогранна. Выделяют следующие его функции [4,6]: 1) образование комплексов с гумусовыми кислотами почв; 2) ферролиз – разрушение почвенных минералов в результате воздействия железа; 3) участие в формировании почвенных агрегатов; 4) каталитическая роль в реакциях разложения органических остатков.

Содержание железа в почвах, его распределение по почвенному профилю и в пределах одного горизонта отражает направление и особенности почвообразовательного процесса: меняются цвет, агрегатное состояние, сорбционная способность [9].

Основным источником железа в почвах являются почвообразующие горные породы и их переотложенные и обогащенные или обедненные этим элементом делювиальные и аллювиальные дериваты. Дифференциация содержания железа в самих породах обусловлена составом железосодержащих минералов [6].

Формы соединений железа в почвах разнообразны. Железо входит в состав различных минералов и органического вещества почвы. К наиболее распространенным почвообразующим минералам железа относятся [5,13]: 1) гематит – встречается, главным образом, в почвах аридных, семиаридных и тропических регионов; как правило, унаследован от материнских пород; 2) маггемит – образуется в сильновыветрелых почвах тропических зон и наиболее часто присутствует в скоплениях гематита, магнетита или гётита; 3) магнетит – унаследован обычно от материнских пород; в почвах тесно связан с маггемитом; 4) ферригидрит – нестабильный почвенный минерал, представляющий гетерогенную смесь 3-х компонентов: ультрадисперсного гематита, структурно упорядоченного и дефектного ферригидритов; 5) гётит – встречается во всех климатических зонах, от

умеренной до тропической; 6) лепидокрокит – типичный минерал плохо дренируемых почв (например, рисовых полей) и почв умеренных гумидных районов, 7) феррооксигит – наиболее часто встречается в песчаных, дерново-подзолистых и бурых лесных почвах; 8) пирит, сульфид железа и ярозит – широко распространены в затопляемых почвах. Некоторая часть железа в почвах находится в составе алюмосиликатов – нонтронита, монтмориллонита, вермикулита, хлорита. Распространение в почвах тех или иных минералов железа связано с масштабами развития оксидогенеза.

Оксидогенез железа оценивается как широко распространенный природный или антропогенный ландшафтно-педохимический процесс наследования, образования, накопления и превращения оксидов и гидроксидов железа как в новообразованиях, так и в мелкозем. Он представляет собой элементарный почвенный процесс, распространенный в различных почвенно-климатических условиях, особенно в гумидных регионах. Оксидогенез является прогрессивным почвенно-экологическим процессом, когда он выражается в ограниченном накоплении в поверхностных горизонтах дисперсных слабоокристаллизованных минералов железа, химически связанных с органическим веществом и способствующих агрегированности структуры почвы. Эти минералы повышают буферность почвы к тяжелым элементам. Когда же происходит чрезмерное накопление железа, сопровождаемое ростом окристаллизованности частиц (гидроксидов железа), разрывом их химических связей с гумусом и снижением микроагрегатированности структуры почвы, этот процесс рассматривается как экологически регрессивный. К таковым относится формирование рудяков, латеритов, конкреционных горизонтов, кирас [5].

Большое разнообразие соединений железа в почве делает целесообразным определение содержания каждого из них. В этом плане более реальную генетическую и агрохимическую информацию дает определение групп соединений, т. е. совокупность сходных по свойствам веществ, содержащих железо, которые могут быть извлечены из почвы действием группового растворителя [9].

Общепринятой схемы разделения соединений железа в почвах не существует. Наиболее удачная классификация принадлежит С.В. Зонну [6], который разделил валовое железо на две группы соединений: 1) силикатное, входящее в состав кристаллических

решеток первичных и вторичных минералов; 2) несиликатное, или свободное, не находящееся в кристаллической решетке почвенных минералов; оно представляет собой группу оксидов, гидроксидов и закисных соединений, как в различной степени окристаллизованных, так и аморфных, включающих железоорганические, обменные и водорастворимые соединения. Понятие подвижное железо, по С.В. Зонну, приложимо преимущественно к органо-минеральным и водорастворимым формам соединений.

Содержание двух групп соединений железа (силикатного и несиликатного) – характеризует степень выветренности почвенной массы, а их соотношение отражает характер или тип выветривания–почвообразования. По соотношению силикатного и несиликатного железа С.В. Зонн предложил относить почвы к одной из трех групп: 1) ферраллитные – с содержанием несиликатного железа до 72-88 %, с минимальными резервами железа в силикатах. В ферраллитных почвах количество несиликатного железа может снизиться до 56 % при большом накоплении алюминия; 2) феррсиалитные – с содержанием силикатного железа от 22 до 63 %, несиликатного от 32 до 50-79 %; 3) сиаллитные – с содержанием силикатного железа 54-83 %, а несиликатного – 17-46 %.

Группы соединений железа характеризуют количественные соотношения и отличия их по профилю распределения, но не вскрывают сущности элементарных процессов почвообразования. Для последних необходимо располагать качественной характеристикой входящих в них соединений и их соотношением. Используя систему методов и расчетов, С.В. Зонн [6] свободные соединения железа (группа несиликатного железа) разделил на: 1. Окристаллизованные: а) сильноокристаллизованные; б) слабоокристаллизованные; 2. Аморфные: а) связанные с гумусом, б) не связанные с гумусом (железистые); 3. Подвижные: а) обменные, б) водорастворимые.

Соединения железа различаются по растворимости их в различных реагентах, что позволяет выделить его формы, обладающие не одинаковой подвижностью, реакционной способностью, возможностью образовывать комплексы и трансформироваться в другие соединения [8].

Несиликатное железо определяют методом Мера-Джексона, силикатное – по разности между его валовым содержанием в почве и количеством несиликатного железа. Для разделения несиликат-

ного (свободного) железа на окристаллизованные и аморфные формы используют метод Тамма: в вытяжку извлекаются аморфные его формы. По разности количеств железа в вытяжке Мера-Джексона и Тамма находят содержание окристаллизованных соединений несиликатного железа. Для подразделения окристаллизованных форм на сильно- и слабоокристаллизованные, а также для определения железа, связанного с органическим веществом, используют метод Баскомба [6,9].

Значение железа не ограничивается его особой ролью в формировании почвенного профиля и плодородия почв. Этот элемент является необходимым компонентом минерального питания растений.

«Находящееся в почве железо, – писал А.А. Шмук [8], – представлено преимущественно малорастворимыми, малоподвижными коллоидными формами, как, например, гидрат окиси железа. Часть почвенного железа, несомненно, связана с фосфорной кислотой, и образует весьма трудно растворимые и сравнительно малоподвижные соли. Поэтому в почвенном растворе обычно обнаруживаются лишь весьма незначительные количества железа в ионной форме, большая же часть железа, находящаяся в почвенном растворе, представлена коллоидными формами».

Содержание в почве подвижного железа снижается по мере повышения значений рН солевой вытяжки от 3,5 до 6,5 ед. Оно также зависит от гранулометрического состава почвы: меньше всего его содержат песчаные – 100-2200 мг/кг, незначительно больше – глинистые – 100-4750, больше всего пылеватые почвы – 500-7850 мг/кг. По почвенному профилю подвижные формы железа распределены неравномерно. Больше всего их в верхних горизонтах. Недостаток в железе растения могут испытывать еще и из-за его антагонизма с ионами марганца, фосфора и кальция. Поглощение железа растениями резко снижается при высоком содержании в почве названных элементов. Содержание подвижных соединений железа в почве уменьшается под воздействием вносимых на посевах сельскохозяйственных культур удобрений. Обусловлено это замещением катионов кальция ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$) железом (FePO_4) с последующим превращением в трехзамещенные соли ($\text{Fe}_2(\text{OH})_3\text{PO}_4$), которые нерастворимы и слабо доступны растениям [2,6].

С.В. Зонн [6] в заключительной части монографии «Железо в почвах» писал: «На фоне общего достаточного содержания железа

в почвах уже сейчас происходит обеднение его свободными формами и, вероятно, обменными в ареалах распространения подзолистых лессивированных и глеевых почв (поверхностно- и грунтово-глеевых), и если не принимать профилактических и мелиоративных мер, то этот процесс будет все усиливаться и снижать плодородие почв, так как с содержанием железа связаны азотный режим, обменная способность и т. д. Та же тенденция выявляется и в почвах с феррсиллитным, ферраллитным и аллитными процессами, с тем лишь отличием, что потери железа сказываются и на потере структурности и, следовательно, на ухудшении физических свойств, а также на переходе части железа в конкреционные и кирасные новообразования. Во всех остальных почвах естественный потенциал железа высокий и темпы перевода силикатного железа в свободные его соединения ниже, чем в ранее названных. Здесь более часто ощущается недостаток обменных и потребляемых растением форм соединений железа, что может быть косвенной причиной хлороза ряда культур. Кроме того, укажем, что значение железа как одного из важных элементов, прямо или косвенно влияющих на плодородие, велико, особенно в прогнозировании последнего на ближайшую и отдаленную перспективы... Недоучет намечающихся тенденций в поведении различных форм железа может исказить оптимистические сценарные прогнозы неуклонного роста плодородия».

Сельскохозяйственные культуры с урожаем выносят из почвы от 0,6 до 12,0 кг/га железа, для зерновых эта величина в среднем составляет 1,5 кг/га, зернобобовых – 2,2, клубне- и корнеплодов – 12,0 кг/га. Критический уровень железной недостаточности, оптимум и уровень токсичного содержания для большинства растений составляет соответственно 11-115, 28-250 и 251-500 мг/кг сухой массы [4,14].

Дефицит железа является проблемой для многих сельскохозяйственных культур, поскольку значительная часть окультуренных почв отличается низким содержанием доступных для растений подвижных его форм. В подвижном состоянии, как правило, находится не более 0,75-0,92 % общего количества этого элемента в почве. Основная часть железа связана в органические и труднодоступные для растений соединения [1].

Степень ожелезненности чернозема выщелоченного, согласно общепринятой группировки почв, средняя (таблица 36). В сево-

обороте без удобрений в слое почвы 0-20 см и 21-40 см валовое содержание железа составляло соответственно 3977 и 3922 мг/кг, в удобряемом варианте – 3914 и 3858 мг/кг. Иными словами, не выявлено существенных различий в содержании валового железа между пахотным 0-20 см и подпахотным 21-40 см слоями почвы. Не обнаружено также заметной разницы между удобряемым и не удобряемым вариантами севооборота по его содержанию. Имеющее место незначительное различие между вариантами севооборота по валовому содержанию железа обусловлено ростом подвижности элемента в связи с ацидизацией почвы под влиянием физиологически кислых минеральных удобрений.

Таблица 36 – Содержание и групповой состав железа в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Валовое	Группа	
			силикатное	свободное
Без удобрений	0–20	3977	2760	1217
	21–40	3922	2608	1314
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0–20	3914	2650	1264
	21–40	3858	2511	1347

Силикатное железо относят к неактивному, так как миграция его в почвенном профиле весьма ограничена. Оно является потенциальным резервом свободного железа. На неудобренном варианте к концу третьей ротации севооборота валовое железо в пахотном и подпахотном слое чернозема выщелоченного представлено на 69,4 и 66,5 % силикатными соединениями элемента. Применяемая система удобрения сельскохозяйственных культур в севообороте сказалась на содержании силикатного железа в почве. Доля его в валовом запасе в 0-20 см и 21-40 см слое почвы уменьшилась соответственно на 1,7 % и 1,4 % по сравнению с неудобренным вариантом.

На долю свободного железа в пахотном и подпахотном слое почвы неудобренного варианта приходится 30,6 и 33,5 % его валового содержания. Увеличение доли свободного железа в подпахотном слое почвы связано с возможным образованием в нем слабоокристаллизованных форм в результате лессиважа. (Лессиваж – процесс, включающий механическое проиливание, комплекс физико-химических явлений, вызывающих диспергирование глинистых частиц и перемеще-

ние их с нисходящим током под защитой подвижных органических веществ, комплексообразование и вынос железа). Слабокислая и близкая к нейтральной реакция почвенного раствора и подвижные органические вещества (фульвокислоты) усиливают развитие лессиважа. Удобрения способствуют увеличению содержания свободного железа, как в пахотном, так и в подпахотном слое почвы.

Свободные соединения железа обладают способностью мигрировать по почвенному профилю. Однако степень миграционной способности соединений, входящих в эту группу железа (аморфных и окристаллизованных) различна. Количественной характеристикой трансформации соединений железа в почвах является содержание различных форм свободного железа.

В таблице 37 представлены результаты исследований по содержанию в черноземе выщелоченном окристаллизованных и аморфных форм соединений железа.

Таблица 37 – Содержание различных форм несиликатного железа в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Форма соединений железа	
		окристаллизованная	аморфная
Без удобрений	0-20	302	915
	21-40	344	910
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	292	972
	21-40	335	1012

Образование окристаллизованных форм соединений железа связано с существованием в почве устойчивых окислительных условий, аморфных – с восстановительными. Эти формы соединений элемента неустойчивы и легко переходят одна в другую при изменении окислительно-восстановительных условий в годовых и сезонных циклах. Окристаллизованные формы нерастворимы, и передвижение их может осуществляться исключительно с илестыми частицами. В данном случае имеет место элювиальная илесто-железистая миграция. Аморфные – находятся преимущественно в коллоидальном состоянии и представляют железогумусовые комплексы, гидроксидные и закисные соединения, которые мигрируют с почвенным раствором по профилю. Кроме того, они входят в состав ила, образуют пленки на поверхности почвенных коллоидов, и

передвижение их может осуществляться, как и окристаллизованных форм, вместе с илистыми частицами.

Данные по содержанию силикатных и свободных форм соединений железа в почве малоинформативны. Значительно более показательным является их соотношение, характеризующее интенсивность выветривания минеральной части почвы. Чем меньше величина этого соотношения, тем интенсивнее выветривание [125].

Величина соотношения силикатного и свободного железа в пахотном и подпахотном слое почвы в удобренном варианте ниже, чем в не удобренном, т. е. применяемая система удобрения севооборота способствует повышению интенсивности выветривания минеральной части почвы (таблица 38).

Таблица 38 – Соотношение различных групп и форм железа в черноземе выщелоченном

Вариант	Слой почвы, см	$\frac{Fe_{\text{сил.}}}{Fe_{\text{своб.}}}$	$\frac{Fe_{\text{аморф.}}}{Fe_{\text{окр.}}}$	$\frac{Fe_{\text{аморф.}}}{Fe_{\text{своб.}}}$
Без удобрений	0-20	2,27	3,03	0,75
	21-40	1,98	2,64	0,69
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	2,1	3,33	0,77
	21-40	1,86	3,02	0,75

Важным показателем, характеризующим агрономические свойства почвы, является соотношение аморфного и окристаллизованного железа. Возрастание величины этого соотношения свидетельствует о разрушении структуры почвы и пептизации глинистой части, что обуславливает развитие процесса слитизации. Судя по полученным данным, просматривается слабо выраженная тенденция увеличения величины этого показателя под воздействием внешних на поля севооборота минеральных удобрений.

С точки зрения характеристики почвенных процессов весьма показательным является степень активности железа, т. е. отношение $Fe_{\text{аморф.}} : Fe_{\text{своб.}}$. Преобладание в почве свободного железа свидетельствует о высокой его активности как в пахотном, так и подпахотном слое почвы чернозема выщелоченного. Причем под воздействием удобрений повышается степень активности железа [15-17].

Выводы. Чернозем выщелоченный характеризуется средней степенью ожелезненности: в пахотном и подпахотном слое валовое

содержание железа составляет 3977 и 3922 мг/кг общего железа. За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота в удобренном и неудобренном вариантах не обнаружено заметной тенденции и снижения валового содержания железа в почве.

При длительном использовании чернозема выщелоченного в условиях агрогенеза происходят существенные изменения в содержании различных групп и соединений железа. На неудобренном варианте севооборота валовое содержание этого элемента в 0-20 см и 21-40 см слое почвы на 69,4 и 66,5 % представлено соединениями силикатной и на 30,6 и 33,5 % свободной группы. Применяемая система удобрения севооборота способствует уменьшению доли соединений силикатной группы и увеличению – свободной.

В черноземе выщелоченном группа несиликатного железа в 0-20 см слое на 24,8 % представлена окристаллизованными и на 75,2 % аморфными соединениями, в 21-40 см слое соответственно – на 26,2 и 73,8 %. Под воздействием удобрений возрастает содержание в почве аморфных и снижается количество окристаллизованных форм соединений этого элемента. Количество различных групп и форм соединений железа в черноземе выщелоченном при систематическом применении удобрений в севообороте определяется не только и не столько размерами привнесения данного элемента в качестве примесей, а такими процессами, как отчуждение железа с дополнительно получаемой продукцией, увеличение его подвижности в почве вследствие сдвига реакции почвенного раствора, изменения фракционно-группового состава гумуса.

Диагностическими критериями состояния железа в черноземе выщелоченном являются количественные соотношения содержания в нем различных групп и форм соединений этого элемента. Содержание и соотношение форм железа в почве претерпевает закономерные изменения под влиянием удобрений: величина и $\frac{Fe_{аморф.}}{Fe_{окр.}}$ возрастает, а $\frac{Fe_{сил.}}{Fe_{своб.}}$ снижается. Все это свидетельствует о повышении активности железа в почве под воздействием вносимых под культуры севооборота удобрений.

Литература

1. Бабанин В.Ф. Исследование Fe-органических соединений почв методом ЯГР / В.Ф. Бабанин, А.Д. Воронин, Г.М. Зенова, Л.О. Карпачев-

ский, А.С. Манучаров, А.А. Опаленко, Т.Н. Початкова // Почвоведение. 1976. №7. С. 128-134.

2. Бочко Т.Ф. Окислительно-восстановительные процессы в почвах рисовых полей Кубани / Т.Ф. Бочко, К.М. Авакян, А.Х. Шеуджен, Е.М. Харитонов, И.Д. Черниченко, В.П. Суетов. – Майкоп: ВНИИРиса, 2002. – 52 с.

3. Водяницкий Ю.Н. Железистые минералы и тяжелые металлы в почвах / Ю.Н. Водяницкий, В.В. Добровольский. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1998. – 216 с.

4. Водяницкий Ю.Н. Оксиды железа и их роль в плодородии почв / Ю.Н. Водяницкий. – М.: Наука, 1989. – 160 с.

5. Водяницкий Ю.Н. Химия и минералогия почвенного железа / Ю.Н. Водяницкий. – М.: Почв.ин-т им. В.В. Докучаева, 2003. – 236 с.

6. Зонн С.В. Железо в почвах / С.В. Зонн. – М.: Наука, 1982. – 208 с.

7. Кириченко К.С. Почвы Краснодарского края / К.С. Кириченко. – Краснодар: Крайгосиздат, 1953. – 240 с.

8. Николаева С.А. Формы соединений железа в почвах рисовых полей / С.А. Николаева, В.Д. Дерюжинская, А.В. Дуришова // Почвоведение. 1987. №7. С. 31-37.

9. Орлов Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. – М.: МГУ, 1985. – 376 с.

10. Пейве Я.В. Биохимия почв / Я.В. Пейве. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 422 с.

11. Шеуджен А.Х. Железо в питании и продуктивности риса / А.Х. Шеуджен, В.В. Прокопенко, Т.Н. Бондарева, М.Н. Броун. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2004. – 152 с.

12. Шеуджен А.Х. Агрохимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.

13. Шеуджен А.Х. Агробιοгеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.

14. Шеуджен А.Х. Агροхимические основы применения удобрений / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – Майкоп: Полиграф-ЮГ. 2013.-572 с.

15. Шеуджен А.Х. Агροхимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2015.-232 с.

16. Шеуджен А.Х. Содержание и состояние железа в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агроценоза / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, О.А. Гуторова, Н.С. Галай, И.А. Лебедевский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2015. №107.

17. Шеуджен А.Х. Агροхимия. Часть 3. Экспериментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 755 с.

18. Шмук А.А. Динамика режима питательных веществ в почве. Труды Т.1 // А.А. Шмук. – М.: Пищепромиздат, 1950. – 372 с.

7.3 Микроэлементы

7.3.1 Бор

Недостаток бора возникает как в результате его вымывания в кислых почвах (подзолистые, верховые торфяники, красноземы), так и при переходе бора в труднорастворимые соединения щелочно-земельных тетраборатов, поэтому дефицит бора весьма обостряется после известкования кислых почв, а также в луговых почвах, где часто циркулируют жесткие Ca-Mg-грунтовые воды, в карбонатных почвах (черноземах, сероземах).

**В.А. Ковда, И.В. Якушевская,
А.Н. Тюрюканов, 1959**

Бор относится к числу рассеянных в природе микроэлементов и в небольших количествах встречается повсеместно. Кларк его в земной коре равен $5 \cdot 10^{-3} \%$, литосфере – $3 \cdot 10^{-4}$, водах Мирового океана – $4,5 \cdot 10^{-4}$, почве – $1 \cdot 10^{-3}$, растениях – $1 \cdot 10^{-4} \%$; биофильность – $8,3 \cdot 10^0$, талассофильность – $3,7 \cdot 10^0$, технофильность – $1 \cdot 10^{-7}$.

Вследствие высокого потенциала ионизации и энергетического коэффициента ($E_k=6,0$) бор никогда не встречается в виде катиона. Обычно он легко образует анионы борной $(\text{BO}_3)^{3-}$ или полиборных $(\text{B}_4\text{O}_7)^{5-}$, $(\text{B}_5\text{O}_8)^{-}$, $(\text{B}_5\text{O}_9)^{3-}$, $(\text{B}_6\text{O}_{11})^4$, $(\text{B}_8\text{O}_{13})^{2-}$ кислот, а иногда, подобно кремнию, входит центральным атомом в различные комплексные ионы как типичный литофильный элемент. В природе бор образует несколько десятков минералов, которые по происхождению можно разделить на две группы: первичные – кристаллические магматического происхождения, и вторичные – аморфные осадочные [4,7,13].

Основные пути миграции бора сосредоточены в осадочных породах, а магматические процессы, приводящие к перекристаллизации осадочных боратов, играют лишь подчиненную роль. Поэтому максимальное содержание бора обнаруживается в осадочных породах морского происхождения. Здесь его количество иногда выражается величинами порядка $n \cdot 10^{-2}$ – $n \cdot 10^{-1} \%$. В кислых изверженных породах содержание бора значительно меньше – $3 \cdot 10^{-3} \%$, а основных – $1 \cdot 10^{-4} \%$ [8,13].

Известны четыре основных источника бора в почвах: материнские породы, атмосферные осадки и космическая пыль, воды Мирового океана и почвенно-грунтовые воды.

Бор относится к элементам группы почвенных галофитов. М.Г. Валяшко и Г.К. Годе [3] выделяют следующие черты геохимии этого элемента: 1) в гипергенных условиях хорошо растворимы только бораты щелочных металлов, а соединения с кальцием и магнием относительно растворимые; Ca^{2+} и Mg^{2+} нужно рассматривать как ионы-осадители бора; 2) низкая растворимость борных соединений кальция и магния ограничивает миграционную способность бора по земной поверхности; 3) бор хорошо осаждается с некоторыми соединениями алюминия, железа, марганца; 4) в кислой и особенно щелочной среде бор подвижен, поэтому аккумуляция его приурочена к зонам распространения кислых и щелочных вод и к области их соприкосновения с сульфатными и хлоридными водами, несущими ионы кальция и магния; 5) рассеянный в почвообразующих породах бор водами сульфатного и хлоридного типов уносится в Мировой океан; 6) с процессом испарения морской воды связаны концентрации бора, представленные боратами магния; в повышении его содержания в почвах ряда приморских областей значительную роль играют процессы импัลверизации с моря и остатки солей трансгрессий.

Подвижность бора в почвах определяется такими ее показателями как гранулометрический состав, содержание органического вещества, реакция почвенного раствора, состав обменных катионов, водный и солевой режим, наличие полуторных оксидов алюминия и железа как источников положительно заряженных коллоидов [6,11,14]. К факторам, способствующим увеличению подвижности в почве и доступности растениям этого элемента, относятся: внесение удобрений, минерализация органического вещества, повышение интенсивности образования и выделения метаболитов корнями в процессе жизнедеятельности растений. К факторам уменьшающим подвижность в почве и доступность растениям бора, относятся: известкование кислых почв, сопровождающееся образованием комплексных соединений бора с полуторными оксидами, иммобилизация бора микроорганизмами, повышение концентрации ионов кальция в почвенном растворе, сопровождающееся изменением соотношения кальция и бора в почвенном растворе в пользу первого [12,15].

В почвах валовое содержание бора в зависимости от природы материнской породы и степени ее выветрелости колеблется от 1 до 270 мг/кг, составляя в среднем 20-50 мг/кг. В песчаных почвах его мало, а в глинистых и в почвах с повышенным содержанием органического вещества – гораздо больше [2,6].

Валовое содержание бора в почвах Кубани находится в пределах 22-98 мг/кг: черноземах – 28-84 мг/кг; солонцевато-солончаковых и карбонатных почвах – до 180 мг/кг. Таким образом, содержание бора в почвах Кубани обычно выше кларка, что типично для почв Предкавказья [9,10]. Смежные черноземные почвы Ростовской области, например, в верхних горизонтах содержат 37-59 мг/кг бора, каштановые – 41-57 мг/кг, т. е. в 2-5 раз больше средних значений [1].

Валовое содержание бора в почве далеко не всегда является показателем обеспеченности им растений. Наибольший интерес с агрономической точки зрения представляет определение не валового количества, а доступных растениям форм его соединений в почве. На сегодняшний день нет единой классификации форм соединений бора в почве. Так, С.А. Бабер [2] различает бор: 1) почвенного раствора; 2) адсорбированный коллоидной фракцией; 3) минералов. Н.Ф. Ермоленко [5] по доступности растениям бор почвы разделил на: 1) водорастворимый; 2) кислоторастворимый; 3) кислотонерастворимый. Усвояемая растениями часть бора (водорастворимый бор) в почве представлена главным образом в форме борной кислоты и ее растворимыми солями. Борная кислота весьма слабая и имеет очень низкую константу диссоциации; в обычных почвенных условиях она диссоциирует как одноосновная кислота. Как образующаяся в самой почве, так и вносимая в виде удобрения борная кислота довольно подвижна, слабо фиксируется почвой и может вымываться атмосферными осадками. Поэтому почвы с промывным водным режимом бедны подвижными формами бора [6,14].

Почвы различаются по содержанию водорастворимого бора. Меньше всего его содержится в дерново-подзолистых почвах – 0,08-0,38 мг/кг, и сероземах – 0,23-0,62 мг/кг, больше – в каштановых – 0,30-0,90 мг/кг, черноземах – 0,38-1,58 мг/кг, и бурых почвах – 0,38-1,95 мг/кг. В среднем около 10 % валового бора в почвах представлено водорастворимой формой. Гумусовый горизонт, где наиболее интенсивно протекают биохимические процессы, содержит больше водорастворимого бора [11,13,15].

При оценке борного статуса почвы следует учитывать не только водорастворимые, но и кислоторастворимые формы соединений этого элемента, так как, во-первых, некоторые почвы, например, подзолистые, являются кислыми; во-вторых, корни растений в процессе жизнедеятельности выделяют метаболиты – ферменты и органические кислоты, которые в известной степени растворяют почвенные минералы. Наконец, органические кислоты образуются в почве и в процессе гумификации остатков фитоценоза. Кислоторастворимые формы соединений бора являются потенциальными источниками пополнения его водорастворимых форм, а следовательно, и питания растений. Их доля в большинстве почв составляет 65-90 % его общего количества, и лишь в сильновыщелоченных – 15-30 %.

Наибольшее количество водо- и кислоторастворимого бора содержится в почвах, богатых коллоидной фракцией. Здесь, очевидно, главную роль играет их высокая сорбционная способность. Поэтому повышенное содержание водо- и кислоторастворимого бора в таких почвах следует приписывать способности коллоидной фракции сорбировать и удерживать соединения бора в подвижной форме [5]. Кислотонерастворимый бор содержится в кристаллической решетке первичных и вторичных минералов.

По содержанию водорастворимого бора почвы Кубани Е.В. Тонконоженко [9,10] разделил на четыре группы. Почвы, содержащие подвижного бора менее 0,65 мг/кг, он относит к бедным, 0,65-0,90 – среднеобеспеченным, 0,91-1,25 – богатым и более 1,25 мг/кг – очень богатым. Валовое содержание бора в черноземе выщелоченном выше кларка почв (таблица 39).

Таблица 39 – Содержание бора и форм его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Бор валовой	Форма соединений бора		
			кислотонерастворимая	кислоторастворимая	водорастворимая
До освоения севооборота	0-20	48,0	18,6	29,4	1,15
	21-40	46,5	18,0	28,5	1,24
После трех ротаций севооборота					
Без удобрений	0-20	47,1	18,5	28,6	1,08
	21-40	45,8	17,8	28,0	1,15
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	46,2	18,3	27,9	0,86
	21-40	44,6	17,4	27,2	0,90

До освоения севооборота в 0-20 см слое почвы содержалось 48,0 мг/кг бора, в 21-40 см – 46,5 мг/кг. В пахотном слое почвы доля кислоторастворимой и кислотонерастворимой форм соединений в валовом содержании элемента составляла 61,2 и 38,8 %, в подпахотном – соответственно 61,3 и 38,7 %. На долю водорастворимой фракции в 0-20 см слое почвы приходилось 3,9 % кислоторастворимой формы соединений элемента, в 21-40 см – 4,4 %. Судя по запасам подвижного бора, почва до закладки севооборота была достаточно обеспечена доступными для растений формами элемента: по региональной группировке относилась к богатым бором.

В процессе агрогенеза почва «расстается» с запасами бора. В варианте севооборота без внесения удобрений его валовое содержание в пахотном слое почвы уменьшилось на 0,9 мг/кг, подпахотном – 0,7 мг/кг или на 1,9 и 1,5 % соответственно. Уменьшение содержания бора происходит преимущественно за счет уменьшения количества кислоторастворимой формы соединений микроэлемента. Кислотонерастворимая фракция бора более консервативна в этом отношении. Ее содержание в почве за три ротации 11-польного севооборота уменьшилось лишь на 0,1-0,2 мг/кг, т. е. практически не изменилось. За три ротации севооборота наметилась четко выраженная тенденция снижения содержания в черноземе выщелоченном подвижного бора. Его количество в пахотном слое уменьшилось на 6,1 %, подпахотном – на 7,2 %. Объясняется это отчуждением бора с урожаями культур севооборота и отсутствием существенных источников пополнения почвы этим микроэлементом.

Результаты анализа почвы, отобранной с удобренного варианта, указывают на более интенсивное ее объединение бором по сравнению с не удобренным. Систематическое внесение минеральных удобрений в течение трех ротаций привело к снижению валового количества бора в пахотном слое на 1,8 и 1,9 мг/кг или на 3,8 и 4,1 %. Влияние минеральных удобрений на содержание кислоторастворимых и кислотонерастворимых форм соединений бора было не равнозначным. Так, если количество кислоторастворимых форм соединений бора в пахотном и подпахотном слое почвы под воздействием удобрений снизилось на 5,1 и 4,6 %, то на содержание кислотонерастворимой фракции они не оказали практически никакого влияния. В то же время применяемая система удобрения севооборота, как свидетельствуют полученные данные, привела к существенному снижению содержания в

почве водорастворимой формы соединений бора: в пахотном слое – на 16,5 %, подпахотном – на 27,4 %.

Влияние систематического внесения минеральных удобрений на подвижность бора в почве можно рассматривать с разных сторон. С одной стороны, почва обедняется бором вследствие повышения продуктивности севооборота и соответственно выноса элемента с урожаем (при систематическом внесении минеральных высококонцентрированных безбалластных удобрений практически исключается поступление в почву бора), с другой – пополняются запасы элемента вследствие поступления в почву большего количества корневых и пожнивных остатков. И наконец, набор физиологически кислых или щелочных удобрений, изменяя физико-химические свойства почвы, также оказывает влияние на подвижность и миграцию этого элемента по почвенному профилю [16,17].

Выводы. Валовое содержание бора в черноземе выщелоченном превышает кларк этого элемента в почвах. Максимальное количество бора содержится в 0-20 см слое почвы, что, вероятно, является следствием его биогенной аккумуляции. За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота наметилась тенденция снижения валового содержания бора в почве. Обеднение почвы этим элементом происходит преимущественно за счет уменьшения количества кислото- и водорастворимой форм соединений микроэлемента. Минеральные удобрения, повышая продуктивность севооборота, способствуют более интенсивному истощению почвы бором. Наметившая тенденция снижения содержания бора в черноземе выщелоченном в условиях агрогенеза свидетельствует о возможности эффективного применения борных удобрений под культуры, наиболее чувствительные к недостатку этого микроэлемента в почве.

Литература

1. Акимцев В.В. Содержание микроэлементов в почвах Ростовской области / В.В. Акимцев, А.В. Болдырева, С.Н. Голубев, М.Н. Кудрявцев, К.В. Руденская, П.А. Садименко, И.Г. Сборникова / Микроэлементы и естественная радиоактивность почв. – Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1962. С. 38-41.
2. Барбер С.А. Биологическая доступность питательных веществ в почве / С.А. Барбер. – М.: Агропромиздат, 1988. – 376 с.
3. Валяшко М.Г. О связи формы выделения боратов из растворов с величиной их рН / М.Г. Валяшко, Г.К. Годе // Журнал неорганической химии. 1960. Т. 5. Вып.6. С. 137-141.

4. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
5. Ермоленко Н.Ф. Микроэлементы и коллоиды почв / Н.Ф. Ермоленко. – Минск: Наука и техника, 1966. – 322 с.
6. Каталымов М.В. Микроэлементы и микроудобрения / М.В. Каталымов. – М.-Л.: Химия, 1965. – 330 с.
7. Ковда В.А. Микроэлементы в почвах Советского Союза / В.А. Ковда, И.В. Якушевская, А.Н. Тюрюканов. – М.: МГУ, 1959. – 67 с.
8. Корсунова М.И. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов на Кубани / М.И. Корсунова. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 232 с.
9. Тонконоженко Е.В. Микроэлементы в почвах Кубани и применение микроудобрений / Е.В. Тонконоженко. – Краснодар: Кр. кн. изд-во. 1973. – 111 с.
10. Тонконоженко Е.В. Содержание бора и молибдена в почвах Краснодарского края / Е.В. Тонконоженко / Микроэлементы и микроудобрения. – Рига, 1982. С. 186-191.
11. Хлюпина М.И. Бор и ванадий в почвах и растениях Краснодарского края: автореф. дис. ... канд. биол. наук / М.И. Хлюпина. – М., 1973. – 22 с.
12. Шеуджен А.Х. Микроудобрения в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Н.Е. Алешин, Д.З. Долев. – Майкоп: МСХ РА, 1994. – 24 с.
13. Шеуджен А.Х. Роль бора в жизни растений и применение борных удобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Н.Е. Алешин, Д.З. Долев, О.А. Досеева. – Майкоп: МСХ РА, 1995. – 39 с.
14. Шеуджен А.Х. Агрохимия микроэлементов в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Е.М. Харитонов, Х.Д. Хурум, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: «Афиша», 2006. – 248 с.
15. Шеуджен А.Х. Микроэлементы в системе рисового севооборота / А.Х. Шеуджен, Х.Д. Хурум. – Краснодар: ВНИИ риса; КубГАУ, 2011. – 363 с.
16. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
17. Шеуджен А.Х. Валовое содержание бора и его формы в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Х.Д. Хурум, Е.А. Яковлева, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Тр. КубГАУ. 2016. № 6(63). С. 107-111.

7.3.2 Кобальт

Поступление кобальта в растения определяется видовой принадлежностью растений и запасами подвижного кобальта в почве. ... Поиск путей оптимизации питания растений кобальтом с целью выращивания сельскохозяйственной продукции с оптимальным содержанием в ней кобальта является актуальной задачей агрохимических исследований.

**Б.А. Ягодин, Г.А. Ступакова,
1989**

Кобальт – типичный рассеянный элемент. Кларк его в земной коре равен $2 \cdot 10^{-3}$ %, литосфере – $3 \cdot 10^{-3}$, водах Мирового океана – $1 \cdot 10^{-7}$, почве – $1 \cdot 10^{-3}$, растениях – $2 \cdot 10^{-5}$ %; биофильность – $2,2 \cdot 10^{-1}$, талассофильность – $3 \cdot 10^{-5}$, технофильность – $7 \cdot 10^{-7}$.

Наиболее богаты кобальтом ультраосновные (200 мг/кг) и основные (45 мг/кг) породы, а бедны – кислые (5 мг/кг); промежуточное положение занимают средние (20 мг/кг) и осадочные (23 мг/кг) [14]. Главным фактором, определяющим содержание кобальта в почвообразующих породах, является состав первичных минералов. В природе известно более 100 кобальтсодержащих минералов, в том числе 26 собственно кобальтовых, которые в основном представлены сульфидами, арсенидами и силикатами [6,11].

Значительная концентрация кобальта в осадочных породах происходит преимущественно за счет обломков основных и ультраосновных изверженных пород силикатов, сернистых соединений железа, локально – продуктов извержения вулканов и в малых количествах глобально – с метеоритной пылью. В биосфере кобальт образует устойчивые оксиды, становится геохимическим спутником марганца и железа [2,11]. В природных условиях он тесно связан с геохимическими циклами железа и марганца; встречается в двух состояниях окисления: Co^{2+} и Co^{3+} ; возможно также образование комплексного аниона $\text{Co}(\text{OH})_3^-$. В кислой среде кобальт относительно подвижен, но слабо мигрирует в почвенном растворе из-за активной сорбции глинистыми минералами, а также оксидами железа и марганца. Кроме того, при низких значениях pH происходит взаимообмен ионов кобальта и марганца, в результате чего образуется $\text{Co}(\text{OH})_2$, который

осаждается на поверхности оксидов. С увеличением рН сорбция кобальта оксидами марганца резко усиливается [3,15].

Валовое содержание кобальта в почвах подчиняется геохимическому правилу четности порядковых номеров элементов в таблице Менделеева. Нечетность порядкового номера кобальта (27) определяет меньшее его содержание сравнительно с соседними четными химическими элементами – железом (26) и никелем (28), что подтверждается данными А.П. Виноградова [1]. Так, кларк железа в почве равен 3,8 %, никеля – 40 мг/кг, а кобальта – 10 мг/кг.

Почвы, как правило, наследуют уровень содержания кобальта в материнских породах. Отсутствие полной корреляции между его количеством в породах и почвах, очевидно, является следствием почвообразования, биогенной и гидрогенной миграции элемента [5,8].

В почвах кобальт обнаруживается в различных соединениях, степень доступности которых для растений неодинакова. Он входит в состав почвенных алюмосиликатов, находится в поглощенном состоянии на поверхности минеральных и органических коллоидов [12].

Основная часть природного кобальта связана с кристаллической решеткой минералов и недоступна для растений. Главным носителем его в почве, несомненно, являются глинистые минералы, в составе которых находится 1/5–1/3 его валового запаса. До 1/4 всего почвенного кобальта связано с органическим веществом, в первую очередь гумусом. Пути его фиксации могут быть различными – это седиментация, адсорбция, комплексообразование, реакции замещения [1,7,13].

Наиболее высокой способностью к фиксации кобальта обладают почвы с нейтральной реакцией и преобладанием в составе гумуса гуминовых кислот. К таким, в первую очередь относятся почвы степного типа почвообразования. Гуминовые кислоты обладают по отношению к кобальту самой высокой комплексообразующей способностью вследствие большего количества карбоксильных групп COOH^- , водород которых в результате обменной реакции замещается на Co^{2+} . По данным Н.Г. Зырина и А.А. Титовой [2], около 95 % кобальта, закрепленного органическим веществом, в решетке глинистых минералов и окклюдировано полуторными оксидами в труднодоступные для растений соединения.

Растения поглощают кобальт в основном в виде двухвалентного катиона, поэтому для них доступны обменные формы элемента, находящиеся на поверхности коллоидов, а также растворимые в

слабых кислотах или водорастворимые соединения, в результате диссоциации которых в растворе появляется Co^{2+} . В почве может находиться и трехвалентный кобальт Co^{3+} , однако он быстро связывается органическим веществом в необменные комплексы. Основные формы подвижного кобальта в почве представлены его хлоридами, сульфатами, бикарбонатами, нитратами, обладающими хорошей растворимостью. В слабых кислотах растворимы и карбонаты кобальта. Источником кобальта для растений может быть его гидроксид $\text{Co}(\text{OH})_2$, образующийся в результате гидролиза бикарбонатов. Гидроксид кобальта выпадает в осадок лишь при pH 6,8, поэтому во всех почвах, за исключением карбонатных, находится в подвижном состоянии [7,10,19].

Данные по содержанию кобальта в почвах основных биохимических зон на территории нашей страны показывают, что наименьшим количеством как валового, так и подвижного кобальта характеризуются почвы таежно-лесной, сухостепной, полупустынной и пустынной зон (таблица 40; [5]).

Таблица 40 – Содержание кобальта в почвах биохимических зон

Биохимическая зона, почвы	Кобальт, мг/кг	
	валовой	подвижный
Таежно-лесная нечерноземная	5,9	0,75
Лесостепная и степная черноземная:		
серые лесные почвы	11,5	2,37
черноземные почвы	12,9	2,21
Сухостепная, полупустынная и пустынная	6,9	0,33
Горные почвы	11,7	1,39

Следует отметить, что на долю подвижного кобальта приходится не более 5 % его валового запаса в почве. По данным Я.В. Пейве [9], содержание подвижного кобальта в основных почвенных разностях Российской Федерации и странах ближнего зарубежья колеблется в широких пределах: в дерново-подзолистых – 0,12–3,0 мг/кг; черноземах – 1,10–2,20; сероземах – 0,9–1,5; каштановых – 1,1–6,0; бурых – 0,57–2,25 мг/кг. В большинстве черноземных почв Кубани подвижного кобальта содержится 0,8–4,0 мг/кг [11,16].

Содержание подвижного, доступного растениям кобальта в почве зависит от механического состава – увеличивается от песка к

глине. Значение механического состава почвы в обеспечении растений кобальтом определяется содержанием в ней коллоидной фракции, связывающей микроэлемент в доступную для растений форму и предохраняющей в известной мере от вымывания или более прочного закрепления. С увеличением карбонатности почвы и при повышении содержания гумуса подвижность кобальта уменьшается в связи его с переходом в малодоступные растениям формы соединений, связанные с органическим веществом [21,22].

Б.А. Ягодин и И.В. Тищенко [20] к факторам, способствующим увеличению подвижности кобальта в почве и доступности его растениям, относят: снижение рН почвенного раствора, внесение физиологически кислых минеральных удобрений, обогащение почвы оксидами углерода, разложение остатков биоценоза, внесение органических удобрений, усиление микробиологической активности. К факторам, уменьшающим подвижность кобальта в почве и его доступность растениям, авторы относят внесение физиологически щелочных минеральных удобрений, известкование кислых почв, необменное поглощение микроэлемента минеральной частью почвы и гумусом с образованием внутрикислотных соединений.

До освоения 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота в пахотном 0-20 см и подпахотном 21-40 см слоях чернозема выщелоченного содержалось равное количество валового кобальта – 14,8 мг/кг (таблица 41). В пахотном слое почвы на долю легкоподвижного, обменного и резервного кобальта приходилось 10,1; 51,4 и 38,5 %, в подпахотном соответственно – 8,1; 42,6 и 49,3 % валового его запаса.

Таблица 41 – Содержание кобальта и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Кобальт валовой	Форма соединений кобальта		
			легкоподвижная	кислото-растворимая	неэкстрагируемая
До освоения севооборота	0-20	14,8	1,5	7,6	5,7
	20-40	14,8	1,2	6,3	7,3
После трех ротаций севооборота					
Без удобрений	0-20	14,4	1,3	7,5	5,6
	20-40	14,5	1,1	6,2	7,2
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	14,0	0,9	8,2	4,9
	20-40	14,2	0,8	7,6	5,8

После трех ротаций севооборота наметилась тенденция снижения валового содержания кобальта в почве. В варианте севооборота без применения удобрений количество его уменьшилось на 2,7 % в пахотном и подпахотном слое почвы. Систематическое применение минеральных удобрений на полях севооборота привело к более интенсивному «расставанию» почвы с кобальтом. За три ротации севооборота содержание элемента в пахотном слое почвы уменьшилось на 5,4 %, а в подпахотном – 4,0 % от исходного его количества. В процессе агрогенеза наметилась слабо выраженная дифференциация пахотного и подпахотного слоя почвы по содержанию кобальта. Отмечено более сильное снижение его содержания в пахотном, нежели в подпахотном слое почвы. Вероятно, такая дифференциация в распределении кобальта обусловлена большим потреблением микроэлемента растениями с 0-20 см слоя почвы и в некоторой степени выщелачиванием его вниз по почвенному профилю.

В процессе агрогенеза в почве произошли определенные изменения и в содержании всех без исключения форм соединений кобальта. Возделывание сельскохозяйственных культур в течение 33 лет без внесения минеральных удобрений привело к уменьшению количества легкоподвижного, обменного и резервного кобальта в пахотном слое почвы на 13,3; 1,3 и 1,8 %, в подпахотном – соответственно на 8,3; 1,6 и 1,4 % по сравнению с их исходным содержанием.

Минеральные удобрения, восполняющие элементы питания – азот, фосфор, калий, и поддерживающие агрохимические показатели плодородия почвы, часто сами служат источниками некоторых элементов-примесей, в том числе и кобальта, а также являются мощным фактором трансформации собственно почвенных и поступающих с атмосферными выпадениями соединений этого элемента. Влияние длительного применения минеральных удобрений на содержание подвижных соединений кобальта в почвах проявляется в совместном действии самих удобрений и фитоценоза на изменения агробиохимических условий [4].

Применяемая система удобрений сельскохозяйственных культур не обеспечивала восполнение запасов кобальта в почве. За три ротации севооборота отмечено снижение содержания легкоподвижного и резервного кобальта в пахотном и подпахотном слое почвы на 40,0 и 14,0 %, в подпахотном на 33,3 и 20,5 % и увеличению количества обменной формы соответственно на 7,9 и 22,2 % [17,18].

Выводы. Валовое содержание кобальта в черноземе выщелоченном до освоения севооборота составляло 14,4 мг/кг, что выше кларкового значения почв мира – 10 мг/кг. В процессе агрогенеза содержание его в пахотном слое уменьшается на 2,7–5,4 %, подпахотном – 1,4–4,0 %. Максимальное содержание кобальта приурочено к подпахотному 21–40 см слою, что является следствием выноса элемента из корнеобитаемого 0–20 см слоя почвы и выщелачивания его вниз по почвенному профилю. По содержанию в черноземе выщелоченном различные формы соединений кобальта располагаются в следующий убывающий ряд: обменные > резервные > легкоподвижные. В процессе агрогенеза характер распределения форм кобальта в почве не изменяется. Применяемая система удобрения сельскохозяйственных культур не обеспечивает бездефицитный баланс кобальта в черноземе выщелоченном. За три ротации севооборота изменилось соотношение форм соединений кобальта в почве: уменьшилось содержание легкоподвижного и резервного кобальта и увеличилось – обменного.

Литература

1. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
2. Зырин Н.Г. Формы соединений кобальта в почвах / Н.Г. Зырин, А.А. Титова / Содержание и формы соединений микроэлементов в почвах. – М: МГУ, 1979. С. 160-223.
3. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
4. Карпова Е.А. Подвижные соединения тяжелых металлов в пахотных горизонтах почв в условиях длительного применения удобрений / Е.А. Карпова. – Экологическая агрохимия. – М.: МГУ, 2008. С. 12-29.
5. Ковальский В.В. Микроэлементы в почвах СССР / В.В. Ковальский, Г.А. Андрианова. – М.: Наука, 1970. – 179 с.
6. Ковда В.А. Микроэлементы в почвах Советского Союза / В.А. Ковда, И.В. Якушевская, А.Н. Тюрюканов. – М.: МГУ, 1959. – 67 с.
7. Кузнецов М.Ф. Микроэлементы в почвах Удмуртии / М.Ф. Кузнецов. – Ижевск: Удм. гос. ун-т, 1994. – 287 с.
8. Панасин В.И. Содержание и распределение кобальта в агроэкосистемах Калининградской области / В.И. Панасин, С.И. Новикова, Г.Г. Комовникова, Д.А. Рымаренко. – Калининград: БГА РФ, 2007. – 217 с.
9. Пейве Я.В. Биохимия почв / Я.В. Пейве. – М: Сельхозиздат, 1961. – 422 с.

10. Потатуева Ю.А. Агрехимическое значение кобальта / Ю.А. Потатуева, И.А. Янчук // Химия в сельском хозяйстве 1980 Т. 18. №3. С. 15-20.
11. Тонконоженко Е.В. Микроэлементы в почвах Кубани и применение микроудобрений / Е.В. Тонконоженко. – Краснодар: Кр. кн. изд-во, 1973. – 111 с.
12. Шеуджен А.Х. Биогехимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГИРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
13. Шеуджен А.Х. Агрехимия и физиология питания риса / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2005. – 1012 с.
14. Шеуджен А.Х. Агрехимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.
15. Шеуджен А.Х. Региональная агрехимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Л.М. Онищенко. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – 502 с.
16. Шеуджен А.Х. Агробиогехимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. -877 с.
17. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений кобальта в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Х.Д. Хурум, В.П. Суетов, И.А. Лебедовский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Агрехимический вестник. 2015. № 1. С. 9-11.
18. Шеуджен А.Х. Агрехимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
19. Ягодин Б.А. Кобальт в жизни растений / Б.А. Ягодин. – М.: Наука, 1970. – 345 с.
20. Ягодин Б.А. Содержание микроэлементов цинка и кобальта в почве и растениях в зависимости от применения удобрений / Б.А. Ягодин, И.В. Тищенко // Вест. с.-х. науки. 1978. № 3. С. 42-50.
21. Ягодин Б.А. Физиологическая роль кобальта и факторы, влияющие на его поступление в растения / Б.А. Ягодин, Г.А. Ступакова // Агрехимия, 1989. № 12. С. 111-120.
22. Ягодин Б.А. Кольцо жизни / Б.А. Ягодин. – М.: «Независимый институт экспертизы и сертификации», 2002. – 135 с.

7.3.3 Марганец

Воды Мирового океана содержат 15 млрд. т марганца, а его кларк в земной коре равен 0,1 %. Это в 46 раз меньше, чем кларк железа, но в 55 раз больше, чем кларк кобальта. Растениями суши марганец поглощается в 35 раз интенсивнее, чем железо.

Е.Д. Терлецкий, 1986

Кларк марганца в земной коре равен 0,10 %, литосфере – $9 \cdot 10^{-2}$, водах Мирового океана – $4 \cdot 10^{-7}$, почве – $8,5 \cdot 10^{-2}$, растениях – $1 \cdot 10^{-3}$ %; биофильность – $9,6 \cdot 10^{-1}$, талассофильность – $2 \cdot 10^{-6}$, технофильность – $6 \cdot 10^{-8}$.

Основным источником поступления марганца в почвы служат горные породы, на дериватах которых формируется почвенный покров. В процессе выветривания и почвообразования происходит перераспределение марганца, однако, оно редко приводит к нарушению тождества его содержания в материнской породе и почве. Среди магматических пород наибольшим содержанием этого элемента характеризуются основные (2000 мг/кг) и ультраосновные (1500 мг/кг) породы, среди осадочных – глинистые сланцы (850 мг/кг) [6,11,12]. В почвообразующих породах Русской равнины количество марганца колеблется от 200 до 900 мг/кг, Кубани – 100-1200 мг/кг, что близко к его кларку [7].

В глобальном масштабе валовое содержание марганца в почвах изменяется от 10 до 10000 мг/кг, при этом максимум на кривой его распределения приходится на интервал 200-800 мг/кг. В пахотном слое большинства почв Российской Федерации и стран ближнего зарубежья содержание марганца колеблется в пределах 250-3000 мг/кг: в дерново-подзолистых – 250-1500, черноземах – 600-930, каштановых – 1000-3000, сероземах – 410-610, красноземах – 500-1000 мг/кг [1,8,17]. В почвах Северного Кавказа валовое содержание марганца составляет 520–1160 мг/кг [9]. Такое количество марганца является типичным и для черноземов Кубани [10].

Марганец известен в 2-, 3-, 4-, 6- и 7-валентных формах, но в почве он присутствует в трех состояниях окисленности – Mn^{2+} , Mn^{3+} и Mn^{4+} . В почвах соединения трехвалентного марганца относительно неустойчивы, поэтому основные формы соединения –

двух- и четырехвалентная. Соотношение Mn^{2+} и Mn^{4+} в почве зависит от происходящих в ней окислительно-восстановительных реакций. В сильновосстановительной среде присутствует Mn^{2+} , в хорошо аэрируемой – Mn^{4+} , образующий труднорастворимые соединения. При крайне высоких окислительных потенциалах могут образоваться соединения Mn^{7+} , точнее, легкорастворимого аниона MnO_4^- . Однако в почвах редко встречаются окислительные потенциалы, достаточно высокие для образования этого аниона в значительных количествах [5].

Соединения марганца участвуют в процессах почвообразования: синтезе гумуса, глинообразовании, оглеении, образовании иллювиальных горизонтов, гидрогенной аккумуляции. При этих процессах марганец закрепляется в почве. Марганец, принимающий участие в оподзоливании и осолодении, выносятся из почвы [2,3,4].

В почвах марганец встречается в виде солей, оксидов, гидроксидов, органических соединений и часть в виде фосфатов. Оксиды и гидроксиды часто образуют пленки на отдельных частицах, конкреции, включения и натеки. В рассеянном виде он может входить в состав первичных минералов, а также находиться в структуре органо-минеральных и органических соединений. В кислых почвах обычно образуются растворимые фосфаты марганца, в нейтральных и слабощелочных – труднорастворимые. Оксид марганца в почве имеет отрицательный заряд, поэтому поглощает катионы, в результате чего осаждается в виде геля совместно с алюминием и железом. Почвенные горизонты, обогащенные железом, особенно иллювиальные, содержат и повышенное количество марганца. Растениям наиболее доступен марганец, находящийся в гумусовом горизонте [13,14].

В почвенном растворе марганец образует ряд простых и комплексных ионов, а также оксидов различного состава. Цикл марганца в почвах состоит из трех стадий: 1) восстановление Mn^{2+} ионами Fe^{2+} , Cr^{3+} , серой и легкоокисляемым органическим веществом; 2) адсорбция Mn^{2+} формами MnO_2 и Mn^{3+} ; 3) окисления $Mn^{2+} \rightarrow Mn^{3+} \rightarrow Mn^{4+}$ свободными гидроксильными радикалами и атмосферным кислородом [14].

В почве А.Е. Возбуцкая [2] выделяет следующие формы соединений марганца: 1) водорастворимые соли – $MnCl_2$, $Mn(NO_3)_2$, $MnSO_4$; $Mn(HCO_3)_2$, $Mn(H_2PO_4)_2$; слаборастворимый $MnHPO_4$;

2) обменно-поглощенный двухвалентный марганец; 3) нерастворимые в воде: оксиды и гидроксиды марганца (закись-окись – Mn_3O_4 ; окись – Mn_2O_3 ; двуокись – MnO_2) и соли марганца – $MnCO_3$, $Mn_3(PO_4)_2$; 4) в составе органического вещества почвы; 5) в составе кристаллической решетки минералов.

Из перечисленных форм марганца лишь две – водорастворимая и обменная, – легкодоступны для растений. Относительно доступны фосфат и карбонат марганца, а также оксиды и гидроксиды этого элемента, поскольку они представляют собой ближайший резерв для пополнения водорастворимой и обменной форм. Марганец, связанный с органическим веществом, потенциально доступен для растений: при разложении органических соединений он может переходить в усвояемую форму. Марганец, входящий в кристаллическую решетку минералов, растения извлекать не могут [4].

На долю водорастворимой фракции приходится 1–10 %, обменной – не менее 40–50 % валового содержания марганца в почве [17]. Содержание подвижного марганца (водорастворимой, обменной и частично связанной с органическим веществом) в почвах колеблется в значительных пределах. Меньше его в черноземах и их засоленных разновидностях, больше – в почвах болотного типа. В последних практически весь марганец может находиться в подвижной форме. Наименьшее количество подвижного марганца обнаружено в карбонатных и перегнойно-карбонатных почвах со щелочной реакцией [5].

Согласно данным Я.В. Пейве [8], дерново-подзолистые почвы содержат подвижного марганца 50–150 мг/кг, черноземы – 1–75, сероземы – 1,5–125, каштановые и бурые почвы – 1,5–75 мг/кг. В почвах Краснодарского края содержание подвижного марганца составляет 12–245 мг/кг, причем, это количество в значительной степени изменяется в зависимости от pH и происходящих в почве окислительно-восстановительных реакций. При усилении восстановительных процессов в почве происходит восстановление трех- и четырехвалентного марганца с образованием наиболее растворимых соединений двухвалентного марганца. При усилении же окислительных процессов, наоборот, содержание подвижных форм его уменьшается в связи с образованием более окисленных труднорастворимых соединений. С повышением кислотности подвижность почвенного марганца увеличивается. В этих условиях значительно

большие количества марганца переходят в двухвалентные формы, которые, находясь в обменных или водорастворимых формах, легко могут поступать в корневую систему растений. На очень кислых почвах избыток двухвалентного марганца может оказать токсическое действие на растения. В то же время при известковании почв марганец переходит в менее подвижные для растений формы.

Подщелачивание почвы стимулирует образование гидрата марганца, трудноусвояемого растениями [13]. Подвижность марганца в пахотном слое почв определяется их буферностью по отношению к кислотам. При высокой буферности почвы подвижность этого элемента уменьшается, при низкой – возрастает. Она значительно возрастает при внесении в почву физиологически кислых минеральных удобрений. Известкование кислых почв уменьшает подвижность этого элемента в результате снижения ее кислотности. В анаэробных условиях микроорганизмы способны восстанавливать марганец, используя для своего существования кислород из диоксида марганца [5].

Интенсивное сельскохозяйственное использование почв повлекло изменение их марганцевого статуса. Особенно заметно это проявилось на рубеже XX-XXI столетий, вследствие глубоких агро-биогеохимических процессов, изменились направление и интенсивность природной миграции марганца. В связи с этим большой научно-практический интерес представляет выявление закономерностей количественного и качественного изменения марганца в почве.

Валовой фонд марганца чернозема выщелоченного до закладки эксперимента составлял в пахотном слое 491,9 мг/кг, подпахотном – 466,3 мг/кг почвы. В пахотном слое 70,44 % валового содержания марганца было представлено обменными формами, 32,16 % – подвижными и 29,56 – резервными. В подпахотном слое доля подвижных форм была меньше, а резервных – больше, чем в пахотном (таблица 42).

Большее содержание марганца ближе к поверхности почвы связано с жизнедеятельностью растений, которые не только отчуждают элемент с урожаем, но и перемещают определенную его часть из нижних горизонтов к поверхности. Кроме того, в ризосфере почва подкисляется, вследствие чего повышается растворимость соединений марганца в пахотном слое.

После трех ротаций 11-польного севооборота содержание марганца в почве снизилось как в удобряемом, так и неудобряемом

севообороте, причем в последнем – в меньшей степени. Так, в пахотном горизонте чернозема выщелоченного оно уменьшилось на 2,76 %, в подпахотном – 1,33 %, а на удобряемых участках – соответственно на 5,06 и 1,91 %.

Таблица 42 – Содержание марганца и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Марганец валовой	Форма соединений марганца		
			легкоподвижная	кислоторастворимая	неэкстрагируемая
До освоения севооборота	0–20	491,9	158,2	346,5	145,4
	21–40	466,3	108,9	292,3	174,0
После трех ротаций севооборота					
Без удобрений	0-20	478,3	150,7	342,0	136,3
	21–40	460,1	103,8	288,5	171,6
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0–20	467,0	157,5	337,4	129,6
	21–40	454,4	107,3	285,2	169,2

В неудобряемом варианте севооборота снижение валового содержания марганца происходит, главным образом, за счет сокращения количества подвижных его форм – на 4,74 и 4,68 % соответственно в пахотном и подпахотном горизонте почвы. Содержание обменных форм элемента снизилось незначительно – на 1,30 %. В пахотном слое на 6,26 % сократились резервы марганца, а в подпахотном – только на 1,38 %.

В почве удобряемого севооборота в наименьшей мере изменилось содержание подвижного марганца – на 0,44 и 1,47 % соответственно в пахотном и подпахотном горизонте. В наибольшей мере изменениям подвержен резервный фонд марганца, который сократился на 10,87 и 5,06 % в пахотном и подпахотном слое почвы [15,16].

Выводы. За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного удобряемого и неудобряемого севооборота валовое содержание марганца в черноземе выщелоченном снизилось в пахотном горизонте на 2,76 %, в подпахотном – 1,33 %, а на удобряемых участках соответственно на 5,06 и 1,91 %. Более интенсивное обеднение почвы марганцем на удобряемом севообороте обусловлено как большим его выносом с урожаем, который значительно возрастал, так и тем, что длительное применение минеральных

удобрений в зерно-травяно-пропашном севообороте и связанное с ним подкисление чернозема выщелоченного увеличивают подвижность марганца, что сопровождается заметным обеднением почвы этим элементом при сохранении относительно высокой его подвижности в почвенном профиле. В результате биологического круговорота поглощаемая растениями доля марганца выносится из корнеобитаемого слоя почвы. При этом часть ее удаляется с урожаем и не возвращается обратно. Другая часть – с корневыми и пожнивными остатками попадает в дальнейший круговорот, тем самым обогащает пахотный слой почвы и поддерживает в настоящее время нормальную обеспеченность культур севооборота марганцем. Однако, учитывая относительное уменьшение валового содержания марганца в черноземе выщелоченном и высокую его подвижность, в перспективе возможно с большой вероятностью ожидать возникновение его дефицита для питания растений, что и наблюдается в некоторых почвах Северного Кавказа.

Литература

1. Анспок П.И. Микроудобрения / П.И. Анспок. – Л.: Агропромиздат, 1990. – 272 с.
2. Возбуждая А.Е. Химия почвы / А.Е. Возбуждая. – М.: Высшая школа, 1968. – 428 с.
3. Ивлев А.М. Биогеохимия / А.М. Ивлев. – М.: Высшая школа, 1986. – 127 с.
4. Ильин В.Б. Биохимия и агрохимия микроэлементов (Mn, Si, Mo, B) в южной части Западной Сибири / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1973. – 390 с.
5. Ковальский В.В. Микроэлементы в почвах СССР / В.В. Ковальский, Г.А. Андрианова. – М.: Наука, 1970. – 179 с.
6. Кокова Н.И. Марганец в биосфере / Н.И. Кокова, С.В. Летунова. – М.: Наука, 1991. – 144 с.
7. Корсунова М.И. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов на Кубани / М.И. Корсунова. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 232 с.
8. Пейве Я.В. Биохимия почв / Я.В. Пейве. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 422 с.
9. Рубилин Е.В. Микроэлементы в почвах Северного Кавказа / Е.В. Рубилин. – Л.: Изд-во Ленинг. ун-та, 1968. – 56 с.
10. Тонконоженко Е.В. Микроэлементы в почвах Кубани и применение микроудобрений / Е.В. Тонконоженко. – Краснодар: Кр. кн. изд-во, 1973. – 111 с.
11. Шеуджен А.Х. Теория и практика применения микроудобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Н.Е. Алешин. – Майкоп, 1996. – 313 с.

12. Шеуджен А.Х. Роль марганца в жизни растений и применение марганцевых удобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Н.Е. Алешин, О.А. Досеева, М.С. Хизириев. – Махачкала, 1997. – 32 с.
13. Шеуджен А.Х. Агрохимия и физиология питания риса / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2005. – 1012 с.
14. Шеуджен А.Х. Агробиогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.
15. Шеуджен А.Х. Содержание и формы марганца в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, О.А. Гуторова, В.П. Суетов, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, Т.Н. Бондарева // Тр. КубГАУ. 2014. № 6(51). С. 34-37.
16. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
17. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 4. Фундаментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 529 с.

7.3.4 Медь

Оптимальным уровнем обеспеченности растений медью считается ее содержание в почве не ниже 2,5-3,5 мг/кг. При более низком ее содержании проявляются признаки медной недостаточности.

М.Я. Школьник, 1974

Кларк меди в земной коре равен 0,01 %, литосфере – $1 \cdot 10^{-2}$, водах Мирового океана – $2 \cdot 10^{-6}$, почве – $2 \cdot 10^{-3}$, растениях – $2 \cdot 10^{-4}$ %; биофильность – $6,6 \cdot 10^{-1}$, талассофильность – $1 \cdot 10^{-4}$, технофильность – $1 \cdot 10^8$. В природе медь встречается в одно- и двухвалентном состоянии, которое определяется окислительно-восстановительными условиями [12-14]. При оценке экологического состояния территории рекомендуется использовать геохимический показатель содержания меди в растительных кормах: экологическое бедствие – < 3 или > 100 мг/кг сухой массы; удовлетворительная обстановка – 10-20; чрезвычайная ситуация 3-5 или 80-100 мг/кг сухой массы. Показатели критического содержания меди в воде: экологическое бедствие > 15 мг/л; чрезвычайная ситуация – 10-15 мг/л. При содержании меди 5 мг/л питьевая вода приобретает неприятный привкус.

Источником меди для почв служат продукты выветривания горных пород, моренные и водносолевые отложения и осадочные породы. Содержание ее больше в ультраосновных и основных породах, чем в средних и кислых. В качестве примера приведем результаты исследований, заимствованные нами из работы А.П. Виноградова [2], в которой показано среднее содержание меди в горных породах и почве (таблица 43).

Таблица 43 – Содержание меди в горных породах и почве

Почва, породы	Содержание меди, мг/кг
Кислые	30
Средние	35
Осадочные	57
Ультраосновные	80
Основные	140
Почва	20

Данные таблицы подтверждают большее содержание меди в основных и ультраосновных породах; среднее – кислые и осадочные породы, которые имеют более близкие между собой показатели меди, но значительно ниже, чем основные и ультраосновные породы. Еще меньше меди в почве, что, очевидно, свидетельствует о ее значительном рассеянии при выветривании горных пород, преотложении продуктов выветривания, формировании материнских пород и в результате почвообразования. К факторам, увеличивающим валовые запасы меди в почве, относятся: высокое содержание коллоидной фракции, органического вещества, глинистых минералов и тяжелый гранулометрический состав.

Содержание меди в почвах подчиняется правилу четности порядковых номеров химических элементов и групп таблицы Д.И. Менделеева. Нечетность группы меди (1 группа) и ее порядкового номера (29) определяют меньшее содержание элемента по сравнению с четными соседними Ni (28 порядковый номер) и Zn (30 порядковый номер). Такая закономерность наглядно подтверждается данными среднего содержания этих элементов в почве: Ni – 40, Cu – 20, Zn – 50 мг/кг [7].

Преобладающая часть высвобожденной из почвообразующих минералов меди мигрирует с почвенными коллоидами и глинистыми частицами, которые ее адсорбируют. Наиболее энергично этот элемент мигрирует в сернокислых водах зоны окисления сульфидных руд, где образуется легкорастворимый сульфат меди. Содержание меди в таких водах иногда достигает значительных величин, а на участках месторождений возникают даже купоросные ручьи и озера. Поэтому медь считается одним из наиболее подвижных элементов в гипергенных процессах. Однако такая миграция не продолжительна: при нейтрализации кислых вод легко осаждаются вторичные минералы меди, она адсорбируется глинами, гидроксидами марганца, гумусом. Важнейшими осадителями меди из вод служат также H_2S , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , VO_4^{3-} и SiO_2 . В итоге медь относительно малоподвижный элемент в почвах и ее суммарное содержание обнаруживают сравнительно слабые вариации в почвенных профилях [6].

Медь принимает участие в агробиогеохимических процессах: 1) содержится в растениях; 2) гумусе; 3) поглощается изоморфно при глинообразовании; 4) сорбируется почвенными коллоидами; 5) аккумулируется при развитии глеевого процесса; 6) накаплива-

ется в силу гидрогенной аккумуляции в луговых и болотных почвах; 7) мигрирует при развитии подзолистого процесса [7].

В глобальном масштабе содержание меди в почвах Земного шара измеряется от 0,1 до 3700 мг/кг, при этом максимум на кривой его распределения приходится на интервал 5-50 мг/кг. Лучше всего обеспечены медью красноземы и желтоземы, а песчаные и органогенные почвы характеризуются низким содержанием этого элемента [3]. Правда, содержание меди в почвах, относящихся к одному генетическому типу, весьма изменчивое. Нередко эти изменения более значительны, чем наблюдаемые различия между типами почв. Обобщение, сделанное В.А. Ковдой, И.В. Якушевской и А.Н. Тюрюкановым [5], является тому подтверждением (таблица 44).

Таблица 44 – Содержание меди в почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья

Почвы	Содержание меди, мг/кг	
	пределы колебаний	среднее
Дерново-подзолистые	0,1-48	15
Серые лесные	5-39	15
Черноземы	7-58	30
Каштановые	0,6-20	10
Болотные	2-37	11
Торфяник верховой	1-5	3
Засоленные	4-42	27
Сероземы	5-20	11
Красноземы и желтоземы	27-140	76
Почвы тундры	2-23	9

В эталонном курском черноземе меди содержится 26 мг/кг, а в большинстве почв Северного Кавказа – 20-35 мг/кг. Распределение меди в профиле большинства почв выровненное. Лишь можно констатировать слабую аккумуляцию микроэлемента в перегнойно-аккумулятивном горизонте.

Наряду с общим содержанием меди, особое значение имеют формы нахождения ее в почвах и, в первую очередь, степень доступности их растениям. А.П. Виноградов [2] различает следующие формы меди в почвах: 1) водорастворимая; 2) обменно-поглощенная; 3) медь, связанная с органическим веществом; 4) медь, находящаяся в решетке почвенных минералов и прежде всего алюмосиликатов.

Водорастворимая форма микроэлемента представлена солями двухвалентной меди: хлоридами, нитратами, сульфатами и комплексными органо-минеральными и минеральными соединениями. Хорошей растворимостью обладают некоторые соли меди с органическими кислотами. Уксусноокислая медь $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ имеет растворимость 72,0 г/л, муравьиноокислая $\text{Cu}(\text{CNO}_2)_2$ – 125,0 г/л, молочная – 167,0 г/л [9].

Обменно-поглощенная форма меди находится на поверхности органических и минеральных коллоидов. Поскольку большинство почвенных коллоидов имеет отрицательный заряд, катионы меди довольно активно поглощаются почвами. Особенно прочная фиксация меди отмечается органическими коллоидами в связи с замещением катиона H^+ в карбонатных группах COOH гумусовых кислот. Присутствующая в составе поглощенных катионов медь составляет 0,25-25 % от валового ее запаса в почве [10].

Органическое вещество почвы может связывать медь путем адсорбции, ионного обмена и комплексообразования, включая внутренние комплексы – хелаты, не исключено и совместное осаждение гидроксидов меди с гуминовыми кислотами. Содержание ее в органическом веществе различных почв варьирует в широком диапазоне. Для дерново-подзолистых почв размах колебаний содержания меди в органическом веществе составляет 1-10 %, черноземов и каштановых почв – 10-50 % от валового ее количества [8,12].

Значительное количество меди в почве находится в необменном и труднорастворимом состоянии. В основном это малорастворимые соли и оксиды, нерастворимые в воде, но растворимые в кислотах: закись Cu_2O и оксид CuO , гидрат закиси CuOH и гидрат оксида $\text{Cu}(\text{OH})_2$; карбонаты, образовавшиеся при реакции меди с углекислотой или при известковании – Cu_2CO_3 , $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$; сульфиды, образовавшиеся при анаэробном разложении органического вещества – CuS и Cu_2S ; фосфат меди $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; оксалат меди $\text{CuC}_2\text{O}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$, растворимость которого составляет 0,025 г/л [145, 211]. К трудно- и малорастворимым соединениям меди в почве следует отнести и ее органо-минеральные комплексы. Образуются они при разложении органического вещества почвы. Кроме того, необменное поглощение меди в почве осуществляется оксидами железа и диоксидом марганца, а также гидроксидами железа и алюминия. Все перечисленные фор-

мы меди от минералов до оксидов и солей практически недоступны для растений и определяют валовое ее содержание в почве. Они служат источником пополнения подвижных, доступных для растений форм, среди которых особое место занимают воднорастворимые соли меди и обменная медь, поглощенная на поверхности коллоидов. В обоих случаях имеется в виду двухвалентный катион меди Cu^{2+} – единственная форма ее поступления в растения.

Процессы, контролирующие поведение меди, в большинстве почв связаны с адсорбцией, окклюзией и соосаждением, образованием органических хелатов и комплексообразованием, микробиологической фиксацией.

Для питания растений особое значение имеет не валовое содержание меди, а количество ее подвижных форм в почве. Как подчеркивает Я.В. Пейве [8], эта форма меди не является химически индивидуальным соединением, а характеризует наиболее растворимую часть валовых запасов меди, переходящую в вытяжки разбавленных кислот. Проведенные И.Н. Антиповым-Каратаевым [1], Я.В. Пейве [9] и М.В. Каталимовым [4] исследования показывают, что содержание подвижной меди в почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья в большинстве случаев колеблется в пределах 1-40 мг/кг. Наиболее бедны медью, извлекаемой 1 н HCl , дерново-подзолистые почвы (0,05-5,0 мг/кг). Сероземы значительно богаче этим элементом (2,5-10,0 мг/кг). Черноземы по содержанию подвижной меди близки к сероземам (4,5-10,0 мг/кг). Буроземы несколько богаче медью (6,0-12,0 мг/кг). Наибольшее содержание этого элемента обнаружено в каштановых почвах (8,0-14,0 мг/кг) и красноземах (8,0-40,0 мг/кг). Количество подвижной меди, переходящей в вытяжку 1 н HCl , в различных почвах Краснодарского края составляет 3-9 мг/кг [11].

По данным Я.В. Пейве [8], факторами, увеличивающими подвижность меди в почве, являются: 1) повышение концентрации ионов водорода в почвенном растворе, т. е. подкисление; 2) внесение физиологически кислых минеральных удобрений; 3) минерализация органического вещества микроорганизмами; 4) накопление в почве нитратов и аммиака. На кислых песчаных почвах, обладающих малой емкостью поглощения, медь может вымываться, что ведет к уменьшению ее валовых запасов. К факторам, уменьшающим подвижность меди и поступление ее в расте-

ние, по мнению автора, служат известкование и связывание меди в форме комплексных органических соединений в почве.

Подвижность и доступность растениям меди находится в тесной связи и с окислительно-восстановительным состоянием почвы. Усиление восстановительных процессов в почве сопровождается снижением подвижности меди. Одной из причин снижения подвижности элемента в данном случае считается образование нерастворимых ее соединений – карбонатов, сульфидов и фосфидов [12,13,14]. Повышению подвижности меди способствует усиление процессов аммонификации и нитрификации.

По количеству подвижной меди сильно отличаются не только в разные по генезису, но и, принадлежащие одной и той же разности почвы. Сведения о распределении общего количества и форм соединений меди в почвах необходимы для агроэкологического мониторинга и рационального применения медных удобрений.

Валовое содержание меди в черноземе выщелоченном близко к кларку почвы (20,0 мг/кг), но несколько ниже, чем в курском эталонном черноземе 26 мг/кг (таблица 45). До освоения севооборота меди в нем содержалось 17,2 мг/кг в пахотном и 17,4 мг/кг в подпахотном слое. При этом в кислотную вытяжку переходило меди соответственно 11,1 и 10,1 мг/кг, в буферную 0,30 и 0,31 мг/кг. Доля легкоподвижной, обменной и резервной меди в пахотном слое почвы составляла соответственно 1,7; 64,5 и 33,7 %; в подпахотном – 1,8; 58,0 и 40,2 % от валового ее содержания.

Таблица 45 – Содержание меди и формы ее соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Медь валовая	Форма соединений меди		
			легкоподвижная	кислоторастворимая	неэкстрагируемая
До освоения севооборота	0-20	17,2	0,30	11,1	5,79
	21-40	17,4	0,31	10,1	6,99
После трех ротаций севооборота					
Без удобрений	0-20	16,8	0,22	10,9	5,68
	21-40	17,0	0,22	9,8	6,98
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	16,5	0,47	10,6	5,43
	21-40	16,8	0,49	10,0	6,31

После трех ротаций зерно-травяно-пропашного севооборота без внесения удобрений валовое содержание меди в почве снизилось на 2,32 % в пахотном и на 2,30 % в подпахотном слое. Уменьшение общих запасов микроэлемента в почве произошло за счет снижения содержания практически всех форм ее соединений. В пахотном слое почвы количество легкоподвижной, обменной и резервной форм соединений меди уменьшилось соответственно на 29,0; 1,8 и 1,9 %, в подпахотном – на 29,0; 3,0 и 0,1 %.

Систематическое внесение удобрений в рекомендуемых дозах для питания культур севооборота ведет к снижению валового содержания меди в почве и изменяет ее подвижность. За три ротации севооборота содержание в ней микроэлемента уменьшилось на 4,1 % в пахотном и на 3,4 % в подпахотном слое. Наблюдаемая тенденция снижения содержания меди в почве обусловлена отчуждением микроэлемента возрастающими под воздействием удобрений урожаями культур севооборота и ростом подвижности, а следовательно, ее миграцией вниз по почвенному профилю [16,17].

Действие рН на подвижность меди состоит в том, что при высоких показателях рН: 1) элемент прочнее сорбируется почвенными коллоидами; 2) образует нерастворимые и труднорастворимые соединения – гидроксиды, фосфаты; 3) при значениях $\text{pH} > 6$ медь входит в состав органических слабодиссоциирующих прочных комплексов [12,15].

Под воздействием удобрений содержание легкорастворимой формы соединений меди в пахотном слое почвы возросло на 51,6 %, подпахотном – на 58,0 %, а количество обменной и резервной меди уменьшилось соответственно на 4,5 и 6,2 % в пахотном и на 1,0 и 9,7 % в подпахотном слое почвы [18,19].

Выводы. Валовое содержание меди в черноземе выщелоченном несколько ниже кларка почв (20 мг/кг) и составляло до закладки опыта 17,2 мг/кг. За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота ее содержание в почве снизилось на 2,3 % в неудобренном и на 4,1 % в удобренном варианте. До закладки полевого опыта на долю легкоподвижной, обменной и резервной форм соединений меди в пахотном слое почвы приходилось 1,7; 64,5 и 33,7 % от ее валового содержания, в подпахотном – 1,8; 58,0 и 40,2 % соответственно.

Выращивание культур севооборота в течение 33 лет без внесения удобрений привело к снижению содержания валовой меди на

2,32 % в пахотном и на 2,30 % в подпахотном слое почвы. Количество легкоподвижных и обменных, наиболее важных с агроэкологических позиций соединений меди, в пахотном слое почвы уменьшилось на 29,0 и 1,8%, подпахотном – на 29,0 и 3,0 % от исходных запасов. Содержание резервной меди в почве после трех ротаций севооборота практически осталось на прежнем уровне. Ее количество в пахотном слое уменьшилось всего лишь на 1,9 %, а в подпахотном слое еще меньше – 0,1 % от исходного содержания этой формы соединений меди.

Систематическое внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений в рекомендуемых дозах под культуры севооборота ведет к обеднению почвы медью. Происходит это за счет снижения содержания обменной и резервной формы ее соединений. В то же время количество легкоподвижных форм соединений меди в почве под воздействием минеральных удобрений заметно возрастает: в пахотном слое на 51,6 %, в подпахотном – на 58,0 % от исходной величины.

Литература

1. Антипов-Каратаев И.Н. О подвижности меди в почвах / И.Н. Антипов-Каратаев // Почвоведение, 1947. № 11. С. 652-659.
2. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
3. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
4. Каталымов М.В. Микроэлементы и микроудобрения / М.В. Каталымов. – М.-Л.: Химия. 1965. – 330 с.
5. Ковда В.А. Микроэлементы в почвах Советского Союза / В.А. Ковда, И.В. Якушевская, А.Н. Тюрюканов. – М.: МГУ, 1959. – 67 с.
6. Лукашев К.И. Химические элементы в почвах / К.И. Лукашев, Н.Н. Петухова. – Минск: Наука и техника, 1970. – 229 с.
7. Маданов П.В. Микроэлементы и микроудобрения в подзолистой зоне Русской равнины / П.В. Маданов, А.С. Фатьянов, Л.М. Войкин, В.П. Маданов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1972. – 556 с.
8. Пейве Я.В. Биохимия почв / Я.В. Пейве. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 422 с.
9. Пейве Я.В. Агрохимия и биохимия микроэлементов. Избранные труды / Я.В. Пейве. – М: Наука, 1980. – 430 с.
10. Рубилин Е.В. Микроэлементы в почвах Северного Кавказа / Е.В. Рубидии. – Л.: Изд-во Ленинг. ун-та, 1968. – 56 с.
11. Суетов В.П. Влияние систематического применения удобрений на накопление тяжелых металлов в почвах Кубани / В.П. Суетов, Л.П. Леплявченко, В.П. Суетов // Труды КубГАУ, 1997. Вып. 358(386). С.54-61.

12. Шеуджен А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГИРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
13. Шеуджен А.Х. Агрохимия микроэлементов в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Е.М. Харитонов, Х.Д. Хурум, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: «Афиша», 2006. – 248 с.
14. Шеуджен А.Х. Агрохимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.
15. Шеуджен А.Х. Агробиогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.
16. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения удобрений на физико-химические свойства чернозема выщелоченного / А.Х. Шеуджен, М.А. Осипов, И.А. Лебедевский, С.В. Есипенко // Агротехнический вестник, 2013, № 6. С. 2-3.
17. Шеуджен А.Х. Изменение содержания и качества гумуса при сельскохозяйственном использовании чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, Т.Ф. Бочко, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Проблемы агрохимии и экологии. 2014. № 2. С. 8-11.
18. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений меди в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, О.А. Гуторова, В.П. Суатов, И.А. Лебедевский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Тр. КубГАУ. 2014. №5(50). С. 106-110.
19. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.

7.3.5 Молибден

Наиболее растворимы в воде и доступны для растений соединения шестивалентного молибдена в нейтральной и слабощелочной среде. На кислых почвах молибден мало доступен растениям, поэтому в таких условиях сказывается положительно внесение молибденовых удобрений.

А.И. Войнар, 1962

Кларк молибдена в земной коре равен 110^{-3} %, литосфере – $3 \cdot 10^{-4}$, водах Мирового океана – $1 \cdot 10^{-7}$, почве – $3 \cdot 10^{-4}$, растениях – $2 \cdot 10^{-5}$ %; биофильность – $1,8 \cdot 10^0$, талассофильность – $1 \cdot 10^{-2}$, технофильность – $4 \cdot 10^8$. Его содержание выше в основных, изверженных кислых и осадочных породах, ниже – в ультраосновных. Встречается он как в породообразующих, так и в аксессуарных минералах. Присутствие элемента в осадочных породах связано как с первичными молибденсодержащими минералами, так и с молибденом, вторично накопленным в результате его сорбции коллоидными гидроксидами алюминия и железа, мелкодисперсным глинистым материалом и органическим веществом [7].

Атом молибдена может находиться в шести различных степенях окисления: 0; +2; +3; +4; +5; +6. Наибольшее значение в химических реакциях имеют степени окисления +6; +5 и +3. Наиболее подвижным в почвенном растворе является анион MoO_4^{2-} , где молибден шестивалентный. Чем выше pH и окислительно-восстановительный потенциал почв, тем более окислен молибден, тем более он подвижен в почвенном растворе и доступен растениям [1].

В геохимических реакциях земной коры молибден участвует главным образом как сидерофильный элемент в глубинных зонах и литофильный в биосфере. Для молибдена характерно: образование труднорастворимых солей с трехвалентным железом (молибдит), свинцом (вульфенит), медью (мендгренин) и кальцием (ковеллит); сорбция гидроксидом железа и органическими сорбентами каолинитов; восстановление Mo^{6+} органическим веществом до Mo^{4+} с образованием легкогидролизующих солей и выпадением MoO_2 ; осаждение в сильно восстановительных средах в присутствии сероводорода с образованием кордизита или трехсернистого молибдена, водных соединений дисульфида молибдена [2,4,11].

А.П. Виноградовым [3] установлен кларк молибдена в почвах Русской равнины, равный $2,6 \times 10^{-4} \%$. Максимальные количества его содержат черноземы ($4,6 \times 10^{-4} \%$); минимальные – почвы низкой биогенности: засоленные, каштановые, сероземы ($1,0 \times 10^{-4} - 2,0 \times 10^{-5} \%$). Среднее содержание микроэлемента характерно для почв подзолистых, красноземных и болотных. В эталонном курском черноземе молибдена содержится 2,8 мг/кг. Количество этого микроэлемента в почвах Краснодарского края изменяется в широких пределах – от 0,9 до 30 мг/кг. Черноземы равнинной части края характеризуются сравнительно небольшим валовым запасом молибдена – 1,6-2,0 мг/кг, т. е. количество микроэлемента в них ниже кларка (менее 2,6 мг/кг) [9,10].

Различное содержание молибдена в почвах отдельных природных регионов обусловлено, прежде всего, разными запасами элемента в почвообразующих породах. Лишь иногда они выступают как следствие почвообразования и гидрогенной миграции солей. Содержание молибдена в почвах в значительной степени зависит от их гранулометрического состава. Наиболее бедны им почвы легкого гранулометрического состава – песчаные и супесчаные. Глинистые и суглинистые почвы, как правило, богаче этим элементом [7,12].

Различают четыре формы нахождения молибдена в почвах: 1) в кристаллической решетке минералов; 2) обменный, сорбированный на глинистых минералах и гидроксидах алюминия и железа; 3) в составе органического вещества почвы; 4) водорастворимые соединения молибдена – молибдаты аммония и щелочных металлов [8,13].

В процессе почвообразования происходит биогенная аккумуляция молибдена в перегнойно-аккумулятивном горизонте. При подзолообразовании наряду с биогенным накоплением идет частичная миграция микроэлемента из верхней части профиля в нижнюю. Биогенное накопление молибдена в перегнойно-аккумулятивном горизонте обусловлено его фиксацией органическим веществом почвы, а повышенное количество в аллювиальном горизонте – большим содержанием илистых частиц и способностью присутствующих здесь глинистых минералов, оксидов железа и алюминия прочно закреплять мигрирующий сверху молибдат-ион.

Формы соединений, подвижность и миграция молибдена в почве определяются: 1) содержанием и характером его соединений в почвообразующих породах; 2) составом и условиями формирова-

ния почвы, содержания с ней глинистых минералов, свободных оксидов алюминия и железа, реакцией среды, водного и окислительно-восстановительного режимов; 3) равновесием между органическими и минеральными соединениями в системе «твердая фаза – почвенный раствор»; 4) круговоротом элементов питания в системе «почва – растение» [12,14].

Наиболее подвижными и доступными для растений являются водорастворимая и обменная форма соединений молибдена. Входящий в состав органического вещества почвы молибден становится доступным после его минерализации. Молибден, входящий в кристаллическую решетку минералов, недоступен растениям.

Для извлечения молибдена из органического вещества почвы используют 0,1 н NaOH; 0,5 н H₂SO₄ и 1,0 н HCl вытяжки. Молибден, связанный с глинистыми минералами, полуторными оксидами алюминия и железа, извлекают из почвы реактивом Тамма. Вытяжка 1,0 н NH₄Cl (pH=3,25) извлекает из почвы водо- и легкорастворимые формы молибдена и показывает возможность перехода их из твердой фазы в почвенный раствор. Для определения содержания подвижного молибдена в почвах чаще всего используют метод Григга, основанный на извлечении элемента из почвы оксалатным буферным раствором с pH 3,3 [5]. Растениям наиболее доступна оксалатнорастворимая форма соединений молибдена, которая в большинстве почв Краснодарского края составляет 5-20 % его валового содержания [6,10,14].

Повышают подвижность молибдена в почве и доступность его растениям: 1) увеличение концентрации в почвенном растворе анионов OH⁻, PO₄³⁻, COOH⁻; 2) внесение в почву CaO, Ca(OH)₂, CaCO₃; 3) внесение фосфорных удобрений, содержащих растворимые анионы PO₄³⁻; 4) минерализация органического вещества. Уменьшают подвижность молибдена в почве и доступность его растениям: 1) увеличение концентрации катиона H⁺; 2) обогащение почв Al(OH)₃, Fe(OH)₃, наличие обменного иона Al³⁺, избыток катионов Fe³⁺ и Mn²⁺. Аморфные гидраты оксида алюминия и железа могут поглощать анион MoO₄²⁻, тем самым снижая его подвижность. Поэтому в кислых подзолистых почвах, содержащих много алюминия и железа, молибден находится в трудноусвояемых для растений формах; 3) внесение физиологически кислых минеральных удобрений без сочетания с известью; 4) закрепление молибдена кислыми формами гумуса, содержащими полуторные оксиды.

Большинство из перечисленных факторов свидетельствуют, что молибден наиболее подвижен и доступен растениям в щелочной среде. В кислых почвах доступность его растениям резко снижается. Объясняется это тем, что в кислых почвах много свободных ионов металлов, которые образуют с молибденом труднорастворимые соединения. В почвах со щелочной реакцией, где содержится достаточное количество анионов OH^- , металлы обычно связаны в виде гидратов, и анион MoO_4^{2-} остается свободным [8].

В почвах содержание подвижных форм соединений молибдена, переходящих в оксалатную вытяжку, варьирует в пределах 0,01-0,97 мг/кг. В почвах Краснодарского края этот интервал несколько уже – 0,03-0,33 мг/кг. По содержанию подвижного молибдена почвы края делятся на четыре группы: 1) бедные, содержание менее 0,10 мг/кг; 2) среднеобеспеченные – 0,11-0,15; 3) богатые – 0,16-0,20; 4) очень богатые – более 0,20 мг/кг [9].

Затраты молибдена на формирование 1 т зерна или 10 т овощей составляют 0,51-2,66 г. Наибольший расход микроэлемента характерен для зернобобовых культур, наименьший – для растений из семейства гречишных, лилейных, маревых и пасленовых [4,13,18].

С урожаем различных сельскохозяйственных растений в Краснодарском крае выносятся 1,8-31,0 г/га [6,9]. Однако молибденовые удобрения здесь еще не нашли широкого применения. Одной из причин такого положения следует считать слабую изученность молибденового режима почв в условиях агрогенеза.

Валовое содержание молибдена в черноземе выщелоченном значительно ниже кларка почв (таблица 46). Распределение его в 0-40 см слое характеризуется незначительной аккумуляцией в пахотном 0-20 см слое почвы: до освоения севооборота в 21-40 см слое почвы валовое содержание молибдена на 4,7 % меньше, чем в пахотном 0-20 см слое.

В условиях агрогенеза чернозем выщелоченный обедняется молибденом. В пахотном и подпахотном слое почвы содержание его за три ротации 11-польного севооборота уменьшилось при выращивании сельскохозяйственных культур без внесения удобрений на 5,88 и 6,79 % соответственно. Тенденция уменьшения валового запаса молибдена в почве проявилась более заметно на удобряемом севообороте. На этом варианте снижение его количества в пахотном слое составило 8,24 %, подпахотном – 10,49 %.

Таблица 46 – Содержание молибдена и форм его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Молибден валовой	Форма соединений молибдена		
			водорастворимая	обменная	прочносвязанная
До освоения севооборота	0-20	1,70	0,08	0,16	1,46
	21-40	1,62	0,07	0,14	1,41
После трех ротаций севооборота					
Без удобрений	0-20	1,60	0,06	0,14	1,40
	21-40	1,51	0,05	0,12	1,34
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	1,56	0,04	0,11	1,41
	21-40	1,45	0,03	0,09	1,33

Обеднение чернозема выщелоченного молибденом в процессе агрогенеза можно объяснить миграцией элемента в составе мелкодисперсной фракции почвы вглубь по профилю под воздействием просачивающихся атмосферных осадков, а также выносом его с урожаем культур севооборота. Последнее, что особенно заметно, проявляется при систематическом применении минеральных удобрений на полях севооборота.

Степень подвижности молибдена в черноземе выщелоченном низкая. До освоения севооборота доля обменного молибдена в пахотном слое почвы составляла 9,4 %, а водорастворимого еще меньше – 4,7 % от валового его количества; в подпахотном – соответственно 8,6 и 4,3 %.

На варианте без внесения удобрений к концу третьей ротации севооборота валовой молибден в пахотном слое почвы был представлен на 3,8 % водорастворимой, 8,8 % обменной и на 87,4 % прочносвязанной формой элемента, а в подпахотном – на 3,3; 7,9 и 88,8 % соответственно. По сравнению с исходными значениями доля прочносвязанной формы в молибденовом фонде почвы возросла, а водорастворимой и обменной – уменьшилась.

Применяемая система удобрения культур севооборота сказалась на содержании всех форм соединений молибдена в почве. Подкисление почвы [15] в результате применения физиологически кислых минеральных удобрений обусловило уменьшение подвижности молибдена. Разница в содержании водорастворимого и обменного молибдена в почве между неудобряемым и удобряемым вариантами составила соответственно 1,2 и 17 мг/кг [16,17].

Выводы. Валовое содержание молибдена в черноземе выщелоченном значительно ниже кларка почв. До закладки опыта в 0-20 см и 21-40 см слоях почвы его содержалось 1,70 и 1,62 мг/кг. За три ротации 11-польного севооборота при выращивании сельскохозяйственных культур без внесения удобрений, содержание валового молибдена в пахотном и подпахотном слоях почвы уменьшилось до 1,60 и 1,54 мг/кг. Систематическое внесение минеральных удобрений на полях севооборота привело к еще большему «расставанию» почвы с молибденом. Вступая в почвенные циклы миграции, молибден, как энергичный биофил, поглощается растениями и затем отчуждается с урожаем сельскохозяйственных культур севооборота. В черноземе выщелоченном недостаточно подвижного молибдена для реализации генетического потенциала продуктивности и получения элементно-сбалансированной продукции районированных высокопродуктивных сортов сельскохозяйственных культур, в связи с чем целесообразно применение молибденовых удобрений.

Литература

1. Буркин И.А. Физиологическая роль и сельскохозяйственное значение молибдена / И.А. Буркин. – М.: Наука, 1968. – 295 с.
2. Вадковская И.К. Химические элементы и жизнь в биосфере / И.К. Вадковская, К.И. Лукашев. – Минск: Вышэйшая школа, 1981. – 175 с.
3. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
4. Власюк П.А, Физиологическое значение молибдена для растений / П.А. Власюк, В.И. Ивченко. – Киев: Наукова думка, 1975. – 212 с.
5. Ковальский В.В. Методы определения микроэлементов в органах и тканях животных, растениях и почвах / В.В. Ковальский, А.Д. Гололобов. – М.: Колос, 1969. – 272 с.
6. Корсунова М.И. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов на Кубани / М.И. Корсунова. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 232 с.
7. Любимова И.Н. Содержание и формы соединений молибдена, ванадия и хрома в почвах / И.Н. Любимова / Содержание и формы соединений микроэлементов в почвах. – М.: МГУ, 1979. С. 224-293.
8. Пейве Я.В. Биохимия почв / Я.В. Пейве. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 422 с.
9. Тонконоженко Е.В. Микроэлементы в почвах Кубани и применение микроудобрений / Е.В. Тонконоженко. – Краснодар: Кр. кн. изд-во, 1973. – 111 с.
10. Тонконоженко Е.В. Содержание бора и молибдена в почвах Краснодарского края / Е.В. Тонконоженко / Микроэлементы и микроудобрения. – Рига, 1982. С. 186-191.

11. Шеуджен А.Х. Молибденовые удобрения на рисовых полях Кубани / А.Х. Шеуджен, В.В. Аношенков. – Краснодар, 1998. – 64 с.
12. Шеуджен А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГИРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
13. Шеуджен А.Х. Агрохимия и физиология питания риса / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2005. – 1012 с.
14. Шеуджен А.Х. Агрохимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котаров. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.
15. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения удобрений на физико-химические свойства чернозема выщелоченного / А.Х. Шеуджен, М.А. Осипов, И.А. Лебедевский, С.В. Есипенко // Агрохимический вестник, 2013, № 6. С. 2-3.
16. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
17. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений молибдена на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза // А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Х.Д. Хурум, И.А. Лебедевский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко / Тр. КубГАУ. 2017. №1(64). С. 157-162.
18. Шильников И.А. Потери элементов питания растений в агробиогеохимическом круговороте веществ и способы их минимизации / И.А. Шильников, В.Г. Сычев, А.Х. Шеуджен, Н.И. Аканова, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – М.: ВНИИА, 2012. – 351 с.

7.3.6 Цинк

На подвижность цинка в почве влияют и проводимые агротехнические приемы. К таким приемам, приводящим к повышению подвижности этого элемента в почве, относятся: внесение физиологически кислых азотных удобрений, обогащение почвы органическим веществом и усиление микробиологической активности почвы. Уменьшение подвижности цинка в почве вызывают: известкование и одностороннее внесение фосфорных удобрений в повышенных дозах.

В.В. Акимцев, 1962

Кларк цинка в земной коре равен 0,02 %, литосфере – $8,3 \cdot 10^{-3}$, водах Мирового океана – $5 \cdot 10^{-6}$, почве – $5 \cdot 10^{-3}$, растениях – $3 \cdot 10^{-4}$ %; биофильность – $2 \cdot 10^0$, талассофильность – $6 \cdot 10^{-4}$, технофильность – $4 \cdot 10^8$.

Основным источником цинка для почв являются продукты выветривания горных пород, моренные, водноледниковые и осадочные отложения. В таблице 47 приведены средние данные содержания цинка в породах и почве, заимствованные из работы А.П. Виноградова [4].

Таблица 47 – Валовое содержание цинка в горных породах и почве

Почва, породы	Содержание, мг/кг
Ультраосновные	50
Кислые	60
Средние	72
Основные	130
Осадочные	80
Почва	50

В основных породах цинка содержится значительно больше, чем в средних, кислых и ультраосновных. Осадочные породы его содержат несколько больше, чем кислые, средние и ультраосновные, но значительно меньше, чем основные. Такое распределение цинка находит свое отражение в количестве его в почвах, развивающихся на продуктах выветривания этих пород.

Содержание цинка в почвах мира изменяется в пределах 10-300 мг/кг [19,20]. В пахотном 0-20 см слое основных типов почв Российской Федерации и стран ближнего зарубежья содержится 20-90 мг/кг цинка (таблица 48; [7,13]).

Таблица 48 – Содержание цинка в почвах, мг/кг

Почвы	Среднее	Пределы колебания
Тундровые	60	53–76
Дерново-подзолистые	35	20–67
Серые лесные	46	28–65
Черноземы	62	24–90
Каштановые	53	–
Сероземные	44	26–63
Красноземные	59	46–73

Высоким содержанием цинка отличаются почвы тундры, черноземы и красноземы. Повышенное количество его в черноземах связано с богатством этих почв гумусом, а в красноземах – с высоким содержанием в почвообразующих породах и, прежде всего, в андезитах и базальтах. Большое содержание цинка в почвах тундры также связано с химическим составом почвообразующих пород и влиянием тундровой растительности. Значительно меньшее количество микроэлемента содержат дерново-подзолистые, серые лесные и сероземные почвы [10]. За эталон содержания валового цинка принято его количество в курском черноземе – 52 мг/кг почвы [16]. В черноземах Кубани содержится 51-75 мг/кг цинка [3,9].

В почвах, не подверженных техногенным воздействиям, существует прямая связь между содержанием цинка в почве и в материнской породе. В ее основе лежат механизмы поведения элемента при выветривании горных пород, минералов и при почвообразовании. При разрушении пород освобождающиеся ионы цинка фиксируются и удерживаются компонентами почв. Глинистая часть почв, органическое вещество, оксиды и гидроксиды железа наиболее ответственны за уровень содержания этого элемента в почве. Причина колебаний содержания цинка в почве заключается в фациальном различии пород, а также обусловлена поверхностным, т. е. эрозийным стоком и неоднородностью растительного покрова [8,11,15].

Распределение цинка по профилю почв, как правило, равномерное, и различные колебания связаны с содержанием органиче-

ского вещества, глинистой фракции, карбонатов, а также с палеопроцессами почвообразования, если они существенно влияют на современный состав почв и педогенез [5,12].

Цинк в почве присутствует в виде различных соединений. При оценке форм соединений элемента в почве следует обратить внимание на два аспекта. В первом случае определяют «доступную» растениям форму соединений посредством химических экстракций с помощью различных растворителей. Во втором – исследуют содержание цинка и его соединений в минеральной и органической частях почв, т. е. в составе первичных и вторичных минералов, оксидов и гидроксидов железа, марганца и алюминия, стабильных и лабильных гумусовых веществ [1,18].

Н.Г. Зырин и его коллеги [6] среди форм соединений цинка выделяют три группы: 1) мобильные – непосредственный источник и резерв питания растений – водорастворимые, ионообменные, непрочнофиксируемые; 2) фиксированные – потенциальный резерв питания растений – хемосорбционные ионы, труднорастворимые соли, входящие в состав комплексных соединений стабильных органических веществ; 3) изоморфные примеси в минералах – стратегический резерв. Согласно данным А.А. Алексеева [2], классификация форм цинка строится с учетом метода выделения форм и перехода соединений элемента в различные растворители: 1) водорастворимые; 2) обменноспособные; 3) легкорастворимые; 4) кислоторастворимые; 5) фиксированные и прочнофиксируемые. С учетом этой общей классификации можно констатировать наличие в почве следующих форм цинка: 1) водорастворимой; 2) обменно-поглощенной минеральными органическими коллоидами; 3) в виде труднорастворимых химических соединений (гидроокиси, карбонаты, фосфиды и сульфиды); 4) в составе органического вещества почвы; 5) в кристаллической решетке почвенных минералов [20,23]. Существование тех или иных форм цинка определяется: составом и свойствами материнской породы, генезисом почв, процессами почвообразования и массообменом в почвах, реакцией среды и окислительно-восстановительными условиями. Чрезвычайно важное значение в образовании различных форм соединений элемента в почвах имеют антропогенные факторы. Они влияют не только на изменение свойств почв, нарушение соединений в почвах, но и на интенсивное локальное загрязнение отдель-

ных регионов цинком до уровней, во много раз превышающих естественные концентрации элемента в почвах [14,17].

Все формы соединений цинка, за исключением находящихся в кристаллической решетке почвенных минералов, в различной степени используются растениями. Наиболее доступной для них является подвижная форма микроэлемента, содержание которой в почвах редко превышает 1 % его валовых запасов [7,13,23]. Так, почвы Ростовской области содержат 0,2-0,3 мг/кг подвижного цинка, а мицеллярно-карбонатные черноземы Краснодарского края еще меньше – 0,1-0,2 мг/кг [16].

Экстрагируемая по Пейве-Ринькису подвижная форма помимо водорастворимых соединений включает и цинк, находящийся в обменно-поглощенном состоянии. Содержание обменного цинка в почвах составляет 15,2-35,5 % его валовых запасов. При этом меньше всего цинка содержится в черноземах. Несколько больше его в дерново-подзолистых почвах. Высоким содержанием обменного цинка отличается бурая лесная почва (таблица 49) [18].

Таблица 49 – Содержание различных форм соединений цинка в почвах

Почва	Форма цинка, % от общего содержания				Водорастворимая форма цинка, мг/мл
	обменная	связанная с органическим веществом	связанная с Fe ₂ O ₃	в кристаллической решетке минералов	
Дерново-подзолистая	21,6	31,7	41,2	5,5	2,70
Чернозем	15,2	19,4	50,0	15,0	0,29
Буряя лесная	35,5	26,0	26,7	11,8	0,53

Растворимость и доступность цинка в почвах имеют отрицательную корреляцию со степенью насыщенности кальцием и с содержанием соединений фосфора. Эти соотношения могут отражать как влияние адсорбции и осаждения, так и взаимодействие между этими элементами.

К факторам, контролирующим подвижность цинка в почвах, относятся: реакция почвенного раствора, содержание органического вещества и окислительно-восстановительные условия. Подвижность цинка увеличивается с повышением кислотности почвы.

Влияние подщелачивания на мобильность этого элемента зависит от состава катионов почвенного раствора и поглощающего комплекса: в солонцеватых почвах, содержащих натрий, образуются растворимые цинкаты натрия; в карбонатных почвах, где в избытке кальций – нерастворимые цинкаты кальция. Фосфаты почвы, образуя труднорастворимые соединения с цинком, отрицательно влияют на его подвижность. Она снижается также с возрастанием гумусированности почвы, что объясняется способностью гуминовых и фульвокислот образовывать устойчивые комплексы с цинком. Прослеживается связь между подвижностью цинка и окислительно-восстановительным режимом почвы: с уменьшением окислительно-восстановительного потенциала почвы она снижается [24].

Интенсификация земледелия предусматривает изучение агробиогеохимического круговорота цинка, особенно в условиях промывного и периодически промывного типов водного режима. Так, в Центральной агроклиматической зоне Краснодарского края с периодически промывным типом водного режима почв возросли потери этого элемента [9,17,19]. Однако, количественные показатели потерь цинка в результате миграции из корнеобитаемого слоя пахотных почв исследованы недостаточно. Не зная эти величины, невозможно высокоэффективное применение цинковых удобрений в сельском хозяйстве.

В пахотном слое чернозема выщелоченного до освоения севооборота (1981 г.) валового цинка содержалось 42,8 мг/кг, в подпахотном – 45,7 мг/кг (таблица 50).

Таблица 50 – Содержание цинка и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Цинк валовой	Форма соединений цинка		
			легкоподвижная	кислоторастворимая	неэкстрагируемая
До освоения севооборота	0-20	42,8	1,3	5,4	36,1
	21-40	45,7	0,8	5,9	39,0
После трех ротаций севооборота					
Без удобрений	0-20	42,3	1,0	8,3	33,0
	21-40	45,0	0,6	9,0	35,4
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	41,9	1,6	10,1	30,2
	21-40	44,8	1,1	10,5	34,2

Формы соединений цинка по количественному содержанию в почве распределяются в следующий убывающий ряд: $Zn_{\text{резервная}} > Zn_{\text{обменная}} > Zn_{\text{легкоподвижная}}$. Такая закономерность характерна как для пахотного, так и для подпахотного слоя почвы.

По содержанию легкоподвижного и обменного цинка чернозем выщелоченный следует отнести к низкообеспеченным, т. е. содержание доступного растениям микроэлемента в нем значительно ниже нормы [22]. В буферную вытяжку перешло 3,0 % в пахотном и 1,8 % подпахотном слое почвы, кислоторастворимую соответственно – 12,6 и 12,9 % валового содержания цинка. Доля резервной кислотонерастворимой формы соединений микроэлемента в общем цинковом фонде почвы составляло 84,3 % в пахотном и 85,3 % в подпахотном слое.

После трех ротаций зерно-травяно-пропашного севооборота без внесения минеральных удобрений количество валового цинка в почве практически осталось на прежнем уровне. В подпахотном и пахотном слое почвы его содержание уменьшилось всего лишь на 0,5 и 0,7 мг/кг или на 1,2 и 1,5 %. В то же время на этом варианте произошли изменения в содержании в почве различных форм его соединений. В пахотном слое количество обменного цинка возросло на 2,9 мг/кг, подпахотном – 3,1 мг/кг, а легкоподвижного соответственно на 0,3 и 0,2 мг/кг и резервного – на 3,1 и 3,6 мг/кг.

Длительное внесение минеральных удобрений на полях севооборота привело к уменьшению валового содержания цинка на 0,9 мг/кг по обоим слоям почвы. Ежегодные потери микроэлемента в удобряемом варианте составили 0,027 мг/кг почвы или 0,064 % от валового количества. Минеральные удобрения вызвали также определенную трансформацию форм соединений цинка в почве. Влияние их систематического применения под культуры севооборота проявилось в значительном увеличении содержания в почве легкоподвижной и обменной и снижении резервной формы соединений микроэлемента.

Количество легкоподвижной и обменной форм цинка в пахотном слое почвы за три ротации 11-польного севооборота увеличилось на 0,3 и 4,7 мг/кг, подпахотном – на 0,3 и 4,4 мг/кг. Под воздействием удобрений за 33 года снизилось содержание кислотонерастворимой (резервной) формы соединений цинка на 3,1 мг/кг в пахотном и на 4,8 мг/кг в подпахотном слое почвы или соответственно на 8,6 и 12,3 %. Следовательно, вынос цинка с урожаями

культур севооборота не компенсируется поступающими на поля с атмосферными осадками и минеральными удобрениями, содержащими его в качестве элемента-балласта [21,22,23].

Выводы. Валовое содержание цинка в черноземе выщелоченном ниже кларка почвы и близко к среднему значению, принятому для черноземов. Максимальное количество его приурочено к подпахотному слою почвы. В условиях агрогенеза просматривается тенденция к снижению содержания цинка в почве, которая приобретает более выраженный характер при применении цинксодержащих удобрений.

Выращивание сельскохозяйственных культур без внесения удобрений за три ротации севооборота привело к снижению содержания в почве легкоподвижной формы цинка. Одновременно с этим произошло возрастание количества обменного и уменьшение содержания резервной кислотонерастворимой формы микроэлемента в почве.

Систематическое применение минеральных удобрений на полях севооборота способствует увеличению подвижности цинка в почве, что приводит к сокращению доли кислотонерастворимой его формы соединений в общем фонде микроэлемента.

Литература

1. Алексеев А.А. Подвижность цинка и кадмия в почвах: автореф. дис. ... канд. биол. наук / А.А. Алексеев. – М: Изд-во МГУ, 1979. – 17 с.
2. Алексеев А.А. Цинк и кадмий / Химия, тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах / А.А. Алексеев. – М: Изд-во МГУ, 1985. С. 26-76.
3. Борисова А.Н. Цинк в почвах и растениях Кубани: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А.Н. Борисова. – Краснодар: КубСХИ. – Краснодар, 1965. – 17 с.
4. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А. П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
5. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М.А. Глазовская. – М: Высшая школа, 1988. – 368 с.
6. Зырин Н.Г. Микроэлементы в почвах и использование микроудобрений в виноградарстве / Н.Г. Зырин, В.А. Большаков, З.В. Пацукевич, Г.П. Стоилов, А.Ф. Скворцов, М.А. Горбатов. – М.: МГУ, 1972. -271 с.
7. Катыльмов М.В. Микроэлементы и микроудобрения / М.В. Катыльмов. – М.-Л.: Химия, 1965. – 330 с.

8. Ковда В.А. Микроэлементы в почвах Советского Союза / В.А. Ковда, И.В. Якушевская, А.Н. Тюрюканов. – М: МГУ, 1959. – 67 с.
9. Корсунова М.И. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов на Кубани / М.И. Корсунова. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 232 с.
10. Лукашев К.И. Химические элементы в почвах / К.И. Лукашев, Н.Н. Петухова. – Минск: Наука и техника, 1970. – 229 с.
11. Маданов П.В. Микроэлементы и микроудобрения в подзолистой зоне Русской равнины / П.В. Маданов, А.С. Фатьянов, Л.М. Войкин, В.П. Маланов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1972. – 556 с.
12. Обухов А.И. Цинк и кадмий в почвообразующих породах / А.И. Обухов, И.Ю. Плеханов, С.К. Ли // Цинк и кадмий в окружающей среде. – М.: Наука, 1992. С. 19-37.
13. Пейве Я.В. Биохимия почв / Я.В. Пейве. – М: Сельхозиздат, 1961. – 422 с.
14. Пинский Д.Л. Формы соединений цинка и кадмия в естественных и загрязненных почвах / Д.Л. Пинский // Цинк и кадмий в окружающей среде. – М.: Наука, 1992. С. 74-83.
15. Пирахунов Т. Эффективность применения молибдена и цинка под хлопчатник и люцерну / Т. Пирахунов, А. Кариев. – Ташкент: Фан 1974. – 192 с.
16. Рубилин Е.В. Микроэлементы в почвах Северного Кавказа / Е.В. Рубилин. – Л.: Изд-во Ленинг. ун-та, 1968. – 56 с.
17. Тонконоженко Е.В. Микроэлементы в почвах Кубани и применение микроудобрений / Е.В. Тонконоженко. – Краснодар: Кр. кн. изд-во, 1973. – 111 с.
18. Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах / Под ред. Н.Г. Зырина и Л.К. Садовниковой. – М.: Изд-во МГУ, 1985. С. 26-76.
19. Шеуджен А.Х. Агрохимия и физиология питания риса / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2005. – 1012 с.
20. Шеуджен А.Х. Агробιοгеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.
21. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений цинка в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Н.Бондарева, Х.Д. Хурум, В.П. Суетов, И.А. Лебедевский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Тр. КубГАУ. 2014. №6(51). С. 38-41.
22. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
23. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 4. Фундаментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 529 с.
24. Ягодин Б.А. Содержание микроэлементов цинка и кобальта в почве и растениях в зависимости от применения удобрений / Б.А. Ягодин, И.В. Тищенко // Вест. с.-х. науки. 1978. № 3. С. 42-50.

7.4 Ультрамикроэлементы

7.4.1 Эссенциальные ультрамикроэлементы

7.4.1.1 Ванадий

Ванадий – тяжелый металл с самым низким номером. Ванадий, имея структурное сходство с фосфатом, может поглощаться системами поглощения фосфатов.

Ранадхир Чакраборти, Прадош Рой, 2009

При выветривании горных пород ванадий либо остается в осадочных породообразующих минералах, либо адсорбируется оксидами железа или глинистыми минералами. Связанный с оксидами железа ванадий наиболее подвижен и доступен для растений.

К. Норриш, 1970

Кларк ванадия в земной коре равен $2 \cdot 10^{-2}\%$; литосфере – $1,5 \cdot 10^{-2}$; водах Мирового океана – $5 \cdot 10^{-8}$; почве – $1 \cdot 10^{-2}$; растениях – $1 \cdot 10^{-4}\%$; биофильность – $6,6 \cdot 10^{-2}$, талассофильность – $2 \cdot 10^{-4}$, технофильность – $8 \cdot 10^{-6}$. Предельная допустимая концентрация ванадия в почве 1580 мг/кг, оросительной воде и водоемах – 0,1 мг/л. Растения-концентраторы ванадия: морские водоросли, грибы, петрушка, соя, укроп [10,13].

Атом ванадия имеет пять валентных электронов. Соединения этого элемента отвечают степеням окисления +2, +3, +4 и +5, т.е. валентностям II, III, IV и V. Им соответствуют окислы VO и V₂O₃ (имеющие основной характер), VO₂ (амфотерный) и V₂O₅ (кислотный). В почвах ванадий присутствует, главным образом, в пятивалентном состоянии в виде ванадат-иона. Появление ванадил-иона VO²⁺ возможно лишь при очень низких значениях Eh и pH, как продукт восстановления метаванадат-иона VO₃⁻. Ванадил-ион, как правило, образует комплексы с органическим веществом почвы и глинистыми минералами. Анионная форма ванадия (VO₄³⁻ и VO₃⁻) отличается мобильностью в почвах и относительно высокой токсичностью для почвенной микробиоты. Она способна сорбироваться на различных гидрооксидах. В интервале pH 7,7-8,2 наилучшим

сорбентом пяти- и четырехвалентного ванадия является гидроксид железа, за ним следует гидроксид марганца. Сорбированный ванадат-ион может оставаться в обменном состоянии, переходить в химически связанный или непосредственно в состав кристаллической решетки сорбента. При подщелачивании среды этот ион вытесняется гидроксидными ионами и переходит в раствор. С гумусовыми кислотами почвы ванадат-ионы реагируют с восстановлением VO_3^- до VO^{2+} (ванадила), который связывается непосредственно с органическим веществом [7,12].

Основным источником поступления ванадия в почвенный покров являются материнские почвообразующие породы. По содержанию ванадия почвообразующие породы существенно различаются между собой (таблица 51; [4]).

Таблица 51 – Содержание ванадия в почвообразующих породах, мг/кг

Магматические породы	Содержание	Осадочные породы	Содержание
Ультраосновные	40-100	Глины	80-130
Основные	200-250	Сланцы	100-130
Средние	30-100	Песчаники	10-60
Кислые	40-90	Известняки	10-45

Среди магматических пород наибольшее содержание ванадия характерно для основных, наименьшее – кислых. Средние и ультраосновные породы занимают промежуточное положение по содержанию этого элемента. Имеются различия в содержании ванадия и между различными осадочными породами. Наиболее обогащены им сланцы и глины, наименее – известняки и песчаники.

В почвообразующих породах Краснодарского края количество ванадия подвержено значительным колебаниям: в равнинной части края диапазон его содержания составляет 69-149 мг/кг, долинах рек – 89-164, предгорной и горной зонах – 49-298 мг/кг [6,8].

Содержание ванадия в почвах варьирует в пределах 20-600 мг/кг и в среднем составляет 100 мг/кг. В основных почвенных разностях Российской Федерации содержание его колеблется от 25 до 380 мг/кг. Максимальное количество ванадия характерно для луговых почв (85-380 мг/кг) и черноземов (40-160 мг/кг); минимальное – для подзолистых (20-90 мг/кг), каштановых и бурых почв (25-60 мг/кг) [1,4].

Значительным колебаниям подвержено содержание ванадия в почвах Северного Кавказа. Так, Н.Г. Зырин и Г.Д. Белицина [2] на большей части территории Дагестана отметили повышенное содержание этого элемента – от 100 до 350 мг/кг. По их данным, высоким содержанием его отличаются почвы Приморской низменности и Восточного предгорья – 250-350 мг/кг; в почвах района Терско-Сулакской низменности содержание ванадия находится в пределах 100-200; в отдельных районах среднегорного Дагестана количество его оценивается в 100-250 мг/кг. В черноземах Ростовской области содержание этого элемента находится в пределах 67-113 мг/кг, а в каштановых почвах области – 35-91 мг/кг [1].

Содержание ванадия в 0-25 см слое почв Краснодарского края колеблется в пределах 75,0-151,3 мг/кг (таблица 52; [6]).

Таблица 52 – Содержание ванадия в почвах Краснодарского края, мг/кг

Почва	Ванадий валовой, мг/кг	Ванадий подвижный,	
		мг/кг	% от валового
Чернозем обыкновенный	151,3	7,4	4,9
Чернозем выщелоченный	103,0	4,7	4,6
Чернозем слитой	135,0	8,7	6,4
Луговые и лугово-черноземные	138,5	1,1	0,8
Аллювиальная луговая	111,7	4,1	3,7
Солонцы и солончаки	126,0	0,2	0,2
Бурые лесные	93,0	4,5	4,8
Светло-серые лесные	75,0	6,9	13,2
Серые лесные	94,0	5,0	5,3
Темно-серые	130,0	5,7	4,4

Наибольшим содержанием ванадия отличается чернозем обыкновенный (151,3 мг/кг), наименьшим – светло-серые лесные почвы (75,0 мг/кг). Слитые черноземы, темно-серые, луговые и лугово-черноземные почвы, а также солонцы и солончаки характеризуются относительно высоким содержанием этого элемента. Значительно меньше содержат его черноземы выщелоченные, аллювиальные луговые, бурые и серые лесные почвы.

Ванадий в почвах находится в: 1) виде легкорастворимых соединений; 2) комплексе с органическим веществом; 3) адсорбиро-

ванном состоянии на глинистых минералах, оксидах алюминия и железа; 4) кристаллической решетке минералов.

Легкорастворимые соединения ванадия переходят в 1 н NH_4Cl вытяжку, а в случае нейтральных почв и 1 н $\text{CH}_3\text{COONH}_4$; связанный с органическим веществом почвы – 1 н HCl , 0,5 н H_2SO_4 и 0,1 н NaOH ; легкообменный на минеральных компонентах почвы – в 1 н $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ($\text{pH} = 7$) [3,7]. Содержание легкорастворимого ванадия в почвах колеблется от ультраследовых количеств до 3-4 % от валового количества. С органическим веществом почвы связано от 2 до 15 % всего ванадия. Доля элемента, связанного полуторными оксидами и глинистыми минералами, в ванадиевом фонде почвы колеблется от 7 до 20 %. Основная масса ванадия – 7-85 % от валового содержания закреплена в почве неподвижно, преобладающая часть которого находится в кристаллических решетках минералов.

Почвы, содержащие подвижного ванадия менее 4 мг/кг, относятся к бедным этим элементом для питания растений; 4-6 мг/кг – среднеобеспеченным; 6-8 мг/кг – хорошо обеспеченным и более 8 мг/кг богатыми [9].

Формы соединений, подвижность и миграция ванадия в почве определяются: 1) содержанием и характером соединений его в почвообразующих породах; 2) составом и условиями формирования почвы, содержанием в ней глинистых минералов, свободных полутораоксидов алюминия и железа, реакций среды, водным и окислительно-восстановительным режимами; 3) равновесием между органическими и минеральными соединениями этого элемента в системе «твердая фаза – почвенный раствор»; круговоротом ванадия в системе «почва–растения» [12].

Содержание ванадия в пахотном слое чернозема выщелоченного несколько ниже его кларка – 100 мг/кг (таблица 53; [9]). С глубиной количество этого элемента по почвенному профилю постепенно возрастает. Это подтверждает его принадлежность к элементам слабого биологического захвата. В гумусовом горизонте почвы ванадий не накапливается. Видимо, он в коллоидном состоянии мигрирует не в виде комплексных соединений и механических взвесей, а в форме анионов – в виде истинных растворов. Такую возможность допускает В.А. Ковда [5].

Абсолютное содержание подвижного ванадия в черноземе выщелоченном по почвенным горизонтам изменяется незначительно.

При этом относительное его количество больше в верхней части гумусового горизонта и уменьшается вниз по профилю. Так, если в горизонте **A_n** подвижный ванадий составлял 6,17 % валового содержания, то в горизонтах **B₁**, **BC** и **C** соответственно 5,39; 4,67 и 2,94 %.

Таблица 53 – Содержание и распределение ванадия по профилю чернозема выщелоченного

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Ванадий валовой, мг/кг	Ванадий подвижный,	
			мг/кг	% от подвижного
A _n	0-10	81,0	5,0	6,17
A ₁	30-40	87,0	6,1	7,01
B ₁	70-80	102,0	5,5	5,39
B ₂	110-120	107,1	6,0	5,60
BC	130-140	107,1	5,0	4,67
C	160-170	180,3	5,3	2,94

В мониторинговом опыте кафедры агрохимии Кубанского госагроуниверситета, заложенном в учхозе «Кубань», не выявлено обеднения чернозема выщелоченного ванадием после трех ротаций 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота (таблица 54).

До освоения севооборота пахотный 0-20 см слой почвы содержал 88,0 мг/кг валового ванадия, подпахотный 21-40 см слой – 97,3 мг/кг. Доля подвижной и кислоторастворимой форм соединений в общем фонде элемента в пахотном слое почвы составила 5,3 и 19,2 %, подпахотном – 5,2 и 18,3 % соответственно.

Таблица 54 – Содержание ванадия и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Ванадий валовой	Форма соединений ванадия		
			подвижная	кислоторастворимая	резервная, кислотонерастворимая
До освоения севооборота	0-20	88,0	4,7	16,9	66,4
	20-40	97,3	5,1	17,8	74,4
После трех ротаций севооборота					
Без удобрений	0-20	88,9	4,1	17,5	67,3
	20-40	97,6	4,9	18,1	74,6
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	87,8	5,0	16,7	66,1
	20-40	96,8	5,2	17,6	74,0

Валовое содержание ванадия в пахотном слое почвы значительно больше, чем в подпахотном. Это относится и к формам его соединений. Вместе взятое это свидетельствует о слабой химической трансформации и вовлекаемости этого элемента в биологический круговорот. За три ротации 11-польного севооборота валовое содержание ванадия под воздействием вносимых на поля удобрений практически не изменилось, а в севообороте без внесения удобрений даже в некоторой степени возросло. Это объясняется незначительным его хозяйственным выносом урожаями культур севооборота и возможным поступлением элемента из атмосферы.

Характер трансформации кислоторастворимой и кислотонерастворимой форм соединений ванадия был аналогичным изменению валового содержания его в почве. Иначе говоря, как и в случае с валовым содержанием ванадия, в почве количество кислоторастворимой и кислотонерастворимой форм его соединений увеличилось на удобряемом варианте и несколько уменьшилось на удобряемом. Причем, такой характер изменения их содержания имел место как в пахотном, так и в подпахотном слое почвы. Иначе изменялось содержание подвижного ванадия в почве. В удобряемом севообороте оно уменьшается, а удобряемом, за счет подкисляющего действия вносимых на полях севооборота минеральных удобрений, наоборот, – увеличивается [11].

Выводы. Содержание ванадия в пахотном слое чернозема выщелоченного составляет 81,0-87,0 мг/кг, что близко к кларку в почвах мира – 100 мг/кг. С глубиной его количество по почвенному профилю постепенно возрастает и достигает в горизонте С 180,3 мг/кг. Это свидетельствует о слабом вовлечении этого элемента в биологический круговорот.

В процессе агрогенеза валовое содержание ванадия в почве удобряемого варианта несколько возрастало, что свидетельствует о преобладании его поступления из атмосферы над отчуждением с урожаями культур севооборота.

Применяемая система удобрения севооборота не привела к накоплению ванадия в почве. Наоборот, его содержание несколько уменьшилось, что объясняется ростом урожая под воздействием удобрений. Поступление ванадия из атмосферы и с удобрениями, в которых он присутствует в виде балласта, не компенсировало его хозяйственный вынос с урожаями культур севооборота.

В ванадиевом фонде чернозема выщелоченного доля его подвижной формы не превышает 4,6-5,7 %, и составляет 4,1-5,0 мг/кг. Такие почвы по региональной шкале относятся к среднеобеспеченным этим элементом, и сельскохозяйственные культуры, возделываемые на них, будут положительно отзываться на ванадиевые удобрения при их внесении.

Литература

1. Добрицкая Ю.И. О некоторых закономерностях распределения ванадия в различных типах почв / Ю.И. Добрицкая / Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине. – М.: Наука, 1974. С. 206-211.
2. Зырин Н.Г. Ванадий, хром, марганец, кобальт, никель, медь в почвах Дагестана / Н.Г. Зырин, Г.Д. Белицина / Микроэлементы и естественная радиоактивность почв. – Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1962. С. 35-38.
3. Зырин Н.Г. Методические указания по спектрографическому определению микроэлементов в почвах и золе растений / Н.Г. Зырин, А.И. Обухов, Г.Д. Белицина. – М.: МГУ, 1971. – 105 с.
4. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
5. Ковда В.А. Микроэлементы в почвах Советского Союза / В.А. Ковда, И.В. Якушевская, А.Н. Тюрюканов. – М.: МГУ, 1959. – 67 с.
6. Корсунова М.И. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов на Кубани / М.И. Корсунова. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 232 с.
7. Любимова И.Н. Содержание и формы соединений молибдена, ванадия и хрома в почвах / И.Н. Любимова / Содержание и формы соединений микроэлементов в почвах. – М.: МГУ, 1979. С. 224-293.
8. Тонконоженко Е.В. Распределение ванадия в почвах Краснодарского края / Е.В. Тонконоженко, М.И. Хлюпина. – Тр. КубСХИ 1973 Вып 70 (98). С. 69-75.
9. Хлюпина М.И. Обеспеченность почв Краснодарского края подвижными формами ванадия / М.И. Хлюпина / Тр. КубСХИ. 1974. Вып. 81 (109). С. 59-64.
10. Шеуджен А.Х. Ванадиевые удобрения на посевах риса / А.Х. Шеуджен, Р.И. Хачак. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2001. – 80 с.
11. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
12. Шеуджен А.Х. Теория и практика применения микро- и ультрамикроудобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2016. – 380 с.
13. Ягодин Б.А. Кольцо жизни / Б.А. Ягодин. – М.: «Независимый институт экспертизы и сертификации», 2002. – 135 с.

7.4.1.2 Йод

Все пронизано йодом: Твердая земля и горные породы, даже самые чистые кристаллы прозрачного горного хрусталя или исландского шпата содержат в себе довольно много атомов йода. Значительно больше его содержится в морской воде, очень много – в почвах, в проточных водах, еще больше в растениях, животных и в человеке. Мы поглощаем йод из воздуха, который весь насыщен его парами; мы вводим йод в свой организм с пищей и водой. Жить без йода мы не можем.

А.Е. Ферсман, 1959

Кларк йода в земной коре равен $1 \cdot 10^{-4}$ %, литосфере – $3 \cdot 10^{-5}$, водах Мирового океана – $5 \cdot 10^{-6}$, почве – $5 \cdot 10^{-4}$, почвенном растворе – $1 \cdot 10^{-4}$, растениях – $1 \cdot 10^{-5}$ %; биофильность – $3 \cdot 10^0$, талассофильность – $1,5 \cdot 10^0$, технофильность – $8 \cdot 10^8$.

Основные физико-химические свойства йода – высокая химическая активность, летучесть в элементарном состоянии, способность к проявлению переменной валентности, высокая растворимость солей йодистоводородной и йодноватой кислот, а также выраженная биофильность обуславливают рассеяние йода и многообразие форм его нахождения в природе [2,5,9,13].

Ведущими факторами, определяющими содержание йода в почвах, являются: концентрация в почвообразующих породах, удаленность от моря, характер водного режима, особенности ландшафтного строения территории и содержание органического вещества [5,14,17].

Йод является постоянной составной частью всех без исключения изверженных и осадочных пород (таблица 55; [1,3]). Изверженные горные породы значительно беднее йодом по сравнению с осадочными. Среди изверженных пород наиболее богаты этим элементом основные и ультраосновные, наименее – кислые. Эта особенность связана с кислотно-основными свойствами йода, как химического элемента. Повышение щелочности среды способствует ионизации йода и закреплению его в породах или почвах, а увеличение кислотности ведет к обратному эффекту, т. е. повышает подвижность элемента вследствие его восстановления до элементарного

состояния и потери. Следовательно, в основе дифференциации содержания йода в изверженных породах лежат кислотно-основные свойства самого элемента и окружающей среды [14].

Таблица 55 – Среднее содержание йода в изверженных и осадочных породах, мг/кг

Изверженные породы	Содержание	Осадочные породы	Содержание
Кислые	0,30	Пески и песчаники	0,46
Средние	0,40	Известняки	0,69
Основные	0,50	Суглинки	1,36
Ультраосновные	0,45	Глины	2,28

Огромным резервуаром йода является Мировой океан, который служит источником его поступления в атмосферу. Воздушные массы переносят йод в пределы суши, а с атмосферными осадками он поступает в почву. Поэтому содержание его в почвах в значительной степени зависит от близости к морю, направления господствующих ветров и высоты над уровнем моря. В районах активной вулканической деятельности заметное количество этого элемента поступает в атмосферу при извержениях вулканов. В ноосфере со сжиганием угля, нефти, торфа доставляется в атмосферу «захороненный» йод. Следовательно, его миграция ускоряется. Этому способствует повышение окислительного потенциала почв при осушении болот [10,16].

Валовое содержание йода в различных почвах земного шара изменяется в пределах 0,1-50 мг/кг. В почве оптимальным его содержанием считается 5-40 мг/кг, меньше 5 мг/кг – недостаточным и больше 40 мг/кг – избыточным [4,6,17]. В основных почвенных разностях Российской Федерации и стран ближнего зарубежья содержание йода колеблется от 0,3 до 12,0 мг/кг (таблица 56; [1]).

Таблица 56 – Содержание йода в основных типах почв Российской Федерации и стран ближнего зарубежья, мг/кг

Почвы	Диапазон	Среднее
Подзолистые	0,6-4,4	2,5
Серые лесные	0,3-6,7	2,6
Черноземы	2,0-9,8	5,3
Сероземы	1,3-3,8	2,5
Красноземы	6,4-12,0	10,0

Бедны йодом сероземы, подзолистые и серые лесные почвы; больше его содержится в черноземах и красноземах. Валовое содержание йода в черноземах, равное 5,4 мг/кг, считается эталонным [4]. В почвах Кубани его количество колеблется в пределах 0,4-11,1 мг/кг [8,12,13].

Валовое содержание йода в почвах во многом зависит от подстилающих пород и их физического состояния. Массивные кристаллические породы содержат его меньше, чем породы, затронутые в той или иной степени процессами разрушения. Рыхлые сыпучие породы – пески, гравий, речной аллювий – бедны йодом независимо от того, из какого материала они образовались. Глины, сланцы, мергели, глинистые и богатые кальцием почвы, наоборот, богаты этим элементом. Почвы с более высоким содержанием органического вещества, т. е. поверхностные горизонты, богаче йодом, чем нижележащие – минеральные. Почвы с нейтральной средой или близкой к ней при прочих равных условиях, как правило, содержат больше его, чем кислые [11].

Йод в почвах находится в органической и минеральной формах, в газовой, жидкой и твердой фазах. Практически весь йод в почвах связан с органическим веществом, с которым, он образует прочные комплексные соединения. Минеральная форма йода в почвах, представлена йодидами и йодатами [7,9]. Ю.Г. Покатилов [11] и В.К. Кашин [5], исходя из степени прочности удержания йода почвой, выделяют следующие формы его соединений: свободный, водорастворимый, соле-, кислото-, щелочнорастворимый и прочносвязанный. Свободный йод образуется в результате освобождения из органического вещества при его минерализации. В силу высокой химической активности элементного йода, длительность существования его свободной формы незначительна, т. к. он вторично связывается гумусом или улетучивается из верхнего слоя почвы в атмосферу. Тем не менее, свободный газообразный йод в следовых количествах постоянно присутствует в почве, так же как и постоянно идут в ней окислительные процессы и распад органических веществ, а также обмен этим элементом между почвой и атмосферой [5,14,16].

Водорастворимый йод – одна из наиболее важных форм миграции его в почвах, в которых представлено, в большинстве случаев, от 1 до 20 % валового количества микроэлемента.

Соле-, кислото- и щелочнорастворимые соединения йода в меньшей степени вовлекаются в биологические процессы. Доля их

в йодном фонде почвы составляет 20-50 %, а в отдельных случаях может достигать и до 80 %.

Прочносвязанный йод в почве находится в фиксированном состоянии, представлен в основном нерастворимыми гуминами, вовлекается в биологический круговорот и используется для питания растений только после минерализации этих фракций органического вещества. Содержание прочно связанного йода в почвах колеблется от 15 до 95 % от валового его запаса [7,11,14].

Между формами соединений йода в почве происходят постоянные взаимопревращения, главными факторами которых являются процессы сорбции, окислительно-восстановительные и гидротермические условия. Наиболее доступен растениям йод водорастворимых соединений, отдельные фракции которых различаются по степени подвижности в почве. Наименее доступен растениям йод, входящий в состав органоминеральных комплексов твердой фазы почвы. Миграция йода из почв происходит в результате вымывания водорастворимых форм в нижележащие слои с поверхностными стоками и улетучивания газообразной его формы с поверхности почв в атмосферу, а также поглощения растениями и почвенной микрофлорой [5].

Валовое содержание йода в черноземе выщелоченном значительно ниже мирового кларка этого элемента. До освоения севооборота в пахотном слое почвы его содержалось 4,30, подпахотном – 3,80 мг/кг (таблица 57).

Таблица 57 – Содержание йода и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Йод валовой	Форма соединений йода			
			водорастворимая	кислотонощелочная	подвижная	резервная
До освоения севооборота	0-20	4,30	0,22	0,74	0,96	3,34
	21-40	3,80	0,15	0,59	0,74	3,06
После трех ротаций севооборота						
Без удобрений N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	4,31	0,20	0,74	0,94	3,37
	21-40	3,78	0,11	0,60	0,71	3,07
	0-20	4,05	0,31	0,70	1,01	3,04
	21-40	3,77	0,19	0,58	0,77	3,00

В почве до закладки эксперимента на долю водорастворимой, кислотно-щелочной и резервной форм йода приходилось соответственно в пахотном слое 5,12; 17,21 и 77,68 %, подпахотном – 3,95; 15,53 и 80,52 % от валового содержания элемента.

После трех ротаций 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота валовое содержание йода в почве на варианте без применения удобрений остались на прежнем уровне. Вынос элемента с урожаями культур севооборота покрывался его поступлением с атмосферными осадками. Не подверглось каким-либо изменениям и количество кислотно-щелочной и резервной формы йода в почве. В то же время содержание водорастворимой формы элемента в почве снизилось на 0,02 мг/кг в пахотном и на 0,04 мг/кг подпахотном слое.

Систематическое внесение минеральных удобрений на поля севооборота сопровождается снижением валового содержания йода в почве, что наиболее заметно проявляется в пахотном ее слое. Вынос элемента с возросшим под влиянием удобрений урожаем не покрывается его поступлением на поля с атмосферными осадками. Удобрения влияли и на трансформацию соединений йода в почве. Под их воздействием заметно возросло содержание водорастворимой формы микроэлемента, главным образом, за счет сокращения резервного фонда йода почвы. На количество кислотно-щелочной формы соединений микроэлемента вносимые на поля севооборота удобрения практически не оказали влияние [15].

Выводы. Валовое содержание йода в черноземе выщелоченном незначительно ниже (4,30 мг/кг) мирового кларка (5,0 мг/кг) этого элемента. На валовое содержание йода и трансформацию его соединений влияет агрогенез. За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота возделывание сельскохозяйственных культур без внесения минеральных удобрений не привело к снижению его валового содержания в почве, не уменьшилось в ней и количество кислотно-щелочной и резервной формы соединений микроэлемента. В тоже время произошло обеднение почвы воднорастворимым йодом. Систематическое внесение минеральных удобрений на полях за три ротации севооборота привело к сокращению в почве валового запаса йода и содержания его резервной (неподвижной) формы, и увеличению количества водорастворимых соединений микроэлемента.

Литература

1. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов, – М: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
2. Добровольский В.В. Основы биогеохимии / В.В. Добровольский. – М.: Высшая школа, 1998. – 413 с.
3. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
4. Каталымов М.В. Микроэлементы и микроудобрения / М.В. Каталымов. – М.-Л.: Химия, 1965. – 330 с.
5. Кашин В.К. Биогеохимия, физиология и агрохимия йода / В.К. Кашин. – Л.: Наука, 1987. – 261 с.
6. Ковда В.А. Микроэлементы в почвах Советского Союза / В.А. Ковда И.В. Якушевская, А.Н. Тюрюканов. – М.: МГУ, 1959.
7. Ковальский В.В. Микроэлементы в почвах СССР / В.В. Ковальский, Г.А. Андрианова. – М.: Наука, 1970. – 179 с.
8. Корсунова М.И. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов на Кубани / М.И. Корсунова. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 232 с.
9. Панасин В.И. Содержание и распространение йода в экосистемах Калининградской области / В.И. Панасин, Д.А. Рымаренко, В.П. Дедков, Т.А. Соврасов. – Калининград: Изд-во Калинингр. госуниверситета, 2002. – 116 с.
10. Перельман А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа 1989.-528 с.
11. Покатилов Ю.Г. Биогеохимия микроэлементов и эндемические болезни в Баргузинской котловине (Забайкалье) / Ю.Г. Покатилов. – Новосибирск: Наука, 1983. – 166 с.
12. Тонконоженко Е.В. Микроэлементы в почвах Кубани и применение удобрений / Е.В. Тонконоженко. – Краснодар: Кр. кн. изд-во, 1973. – 111 с.
13. Шеуджен А.Х. Агробиогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.
14. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
15. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 4. Фундаментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 529 с.

7.4.1.3 Селен

Биологическая роль селена оказалась намного значительнее, чем считали прежде. Но она, эта роль, как и прежде, неоднородная: на одной и той же «сцене» – в живом организме – элемент № 34 может выступать и как «герой», и как «злодей».

В.В. Станцо, 1977

Кларк селена в земной коре равен $8 \cdot 10^{-5}$ %, литосфере – $6 \cdot 10^{-5}$, почве – $1 \cdot 10^{-7}$, водах Мирового океана – $4 \cdot 10^{-7}$ %; биофильность – $4 \cdot 10^{-1}$, талласофильность – $4 \cdot 10^{-3}$, технофильность – $2 \cdot 10^8$.

В химическом отношении селен является аналогом серы, находясь с ней в главной подгруппе VI группы элементов. Для селена характерны степени окисления – 2, + 4, + 6; он образует диоксид SeO_2 и триоксид SeO_3 , соответственно селенистую H_2SeO_3 и селеновую кислоты H_2SeO_4 (соли – селениты и селенаты). Селенистая кислота слабая, ее константы диссоциации $K_1 = 2 \cdot 10^{-3}$ и $K_2 = 5 \cdot 10^{-9}$. Селеновая кислота сильная, степень ее диссоциации близка к степени диссоциации серной кислоты. Селениты щелочных металлов хорошо растворимы, другие селениты имеют низкую растворимость. Селенаты, как правило, хорошо растворимы в воде. Для содержания селенатов в воде установлен ПДК $0,2 \text{ мг/м}^3$ в расчете на селен. Соли слабой селеноводородной кислоты H_2Se – селениды – сходны по своим свойствам с сульфидами. Для селена характерно также образование селеноорганических соединений, содержащих связь – Se–C; в их числе различают следующие основные классы: 1) селенолы; 2) селениды; 3) селенониевые соединения; 4) селеноальдегиды и селенокетоны; 5) моно- и диселенокарбоновые кислоты; 6) селеносодержащие аминокислоты; 7) гетероциклические соединения селена. В биосфере встречаются немногие из них. Возможно и присутствие в почве элементарного селена [6,15,17].

Источником селена для биосферы служат изверженные породы, вулканические дымы, гидротермы, поэтому в районах современного и древнего вулканизма почвы и осадочные породы нередко им обогащены. Селен содержится в сульфидных рудах, ураново-молибденовых и серных месторождениях. Обнаруживается он в комплексе с фосфоритами, свинцом, цинком, ртутью, серебром и медью [7,8,9].

В магматических породах содержание селена низкое. Его количество в них не превышает 0,05 мг/кг (таблица 58; [5]).

Таблица 58– Содержание селена в магматических и осадочных породах, мг/кг

Магматические породы	Содержание	Осадочные породы	Содержание
Ультраосновные	0,02-0,05	Глины	0,4-0,6
Основные	0,01-0,05	Сланцы	0,6
Средние	0,02-0,05	Песчаники	0,05-0,08
Кислые	0,01-0,05	Известняки	0,03-0,10

Наибольшее содержание селена обнаруживается в осадочных породах, где он связан с глинистой фракцией, и поэтому наименьшие его концентрации отмечаются в песчаниках и известняках.

Содержание селена в почвах различных генетических типов изменяется в широких пределах. В почвах, сформированных на вулканических породах, его количество в среднем составляет 0,2-0,6 мг/кг, развившихся на осадочных породах – 4,5-5,0 мг/кг, но в зависимости от условий почвообразовательного процесса широко изменяется, достигая иногда 100 мг/кг. Преимущественно это щелочные почвы, концентрация селена в почвенном растворе которых составляет 10^{-6} молей [1,2,10].

Содержание селена в большинстве почвенных типов Российской Федерации и стран ближнего зарубежья изменяется в интервале 0,01-1,0 мг/кг. Более обогащены им пойменные и каштановые почвы, черноземы и сероземы (0,3-1,0 мг/кг), а дерново-подзолистые и песчаные почвы – относительно обеднены этим элементом (0,05-0,2 мг/кг) [4,5,13,14].

Биогеохимический мониторинг в отдельных регионах Российской Федерации выявил зоны с дефицитом селена в почве в Нечерноземной зоне Европейской части России, на Южном Урале и в Удмуртии. Потенциально такой же биогеохимической провинцией является юго-запад Карелии. Провинции селенодефицита обнаружены в Забайкалье и на Северном Кавказе. В Предкавказских черноземах валовое содержание селена составляет 0,01-0,03 мг/кг. Азональная биогеохимическая провинция с избытком селена выявлена в Уюгской и Барыкской долинах Тувы. Биогеохимическое обследование Рязанской и Московской областей, а также территорий,

расположенных на северо-запад от Московской области вплоть до Архангельской включительно, показало, что валовое содержание селена в почвах колеблется в пределах 61-729 мкг/кг. Наибольшие концентрации микроэлемента (524-727 мкг/кг) определены в торфянистых, болотных, оглеенных и образованных на карбонатных породах почвах. Повышенная концентрация (608 мкг/кг) селена обнаружена в почве, обогащенной окислами железа [4,11,12].

Почвы по содержанию селена делятся на три класса [6,17]:

1) почвы с токсичным уровнем содержания селена (карбонатные и щелочные почвы, в которых селен находится в форме селенатов);

2) почвы не токсичные по селену (кислые почвы, обогащенные железом, и содержащие селен в количествах 1-15 мг/кг);

3) почвы с низким содержанием селена (почвы на изверженных породах и молодых вулканических отложениях).

Селен в почвах представлен селенидами (Se^{2-}), элементарным селеном (Se^0), селенитами (SeO_3^{2-}), селенатами (SeO_4^{2-}) и органическими соединениями, преимущественно в окисленной форме (белки и аминокислоты растительных остатков). Наличие химических форм неорганического селена в почвах определяется величиной рН и окислительно-восстановительного потенциала [14,17]. В аэрируемых и щелочных почвах элемент присутствует преимущественно в форме селенатов, в кислых почвах влажных районов с низким окислительно-восстановительным потенциалом – в форме селенитов или даже селенидов (при восстановлении элементарного селена). Наиболее высоко окисленные формы – селениды и селенаты (в основном селенаты) – считаются доступными для растений [3,7,13].

Антропогенное воздействие, в первую очередь связанное со сжиганием ископаемого топлива, резко увеличивает долю атмосферного селена таким образом, что последний, наряду с депонированными в земле формами, становится важным источником этого микроэлемента для растений. Однако далеко не весь селен почвы доступен для растений. Так, в кислых, сильно заболоченных почвах биодоступность микроэлемента низка, хотя общее содержание может быть и значительным. Здесь большое значение имеет образование нерастворимых комплексов четырехвалентного селена с железом. В аэробных щелочных условиях преобладающая часть селена находится в окисленной форме (Se^{6+}) и легкодоступна для растений [11,12,14].

Существует определенная связь между содержанием доступного растением селена и почвенной зональностью. Так, концентрации подвижного селена в нативных почвах лесостепной зоны – 0,180 мг/кг, предгорной – 0,296, горной – 0,417 мг/кг, т. е. в почвах горной зоны в 2,3 раза, а в предгорной – в 1,6 раза больше подвижного селена по сравнению с зоной лесостепи [4].

При изучении форм нахождения и трансформации соединений селена в почвах рекомендуют обратить внимание на следующие моменты [5,14]:

– в кислых глеевых почвах и в почвах с высоким содержанием органического вещества преобладают селениды и сульфиды селена, которые малоподвижны и поэтому труднодоступны для растений;

– в хорошо дренируемых минеральных почвах, рН которых близок к нейтральному, доминируют исключительно селениты, при этом селениты щелочных минералов растворимы, а селениты железа нерастворимы. Кроме того, селениты активно фиксируются гидроксидами и оксидами железа и поэтому труднодоступны для растений;

– в щелочных и хорошо аэрируемых почвах имеют место селенаты. Они легко растворимы, слабо фиксируются оксидами железа и достаточно подвижны, что делает их доступными для растений.

Содержание соединений селена в биосфере и его трансформация обусловлены следующими факторами [6]:

1) окислительно-восстановительные условия и рН, от которых зависят формы минеральных и частично органических соединений селена;

2) деятельность микроорганизмов и высших растений, накапливающих селен или трансформирующих его соединения в летучие органические формы;

3) адсорбция, влияющая на закрепление соединений селена в почвах и породах;

4) миграция с водными потоками, включающая выщелачивание в гумидных ландшафтах и аккумуляцию при соленакоплении в аридных областях.

Анализ диаграммы растворимости различных форм соединений селена показывает, что в интенсивно окислительной среде ($pe + pH > 15,0$) преобладает SeO_4^{2-} как в кислых, так и в щелочных почвах. При $pe + pH = 7,5-15,0$ наибольшее значение имеют как $HSeO_3^-$, так и SeO_3^{2-} , но $HSeO_3^-$ должен преобладать в кислых

почвах, а SeO_3^{2-} – в щелочных. В интенсивно восстановительной среде ($p_e + \text{pH}$ менее 7,5) должен преобладать HSe^- , и только в очень сильноокислой среде вклад H_2Se в общую концентрацию селена в растворе может быть значительным. Анион Se^{2-} присутствует в очень малых количествах и не имеет существенного значения для большинства почв.

На сегодняшний день нет единой универсальной классификации форм селена в почве. Предлагаемые исследователями вытяжки для извлечения той или иной формы микроэлемента существенно различаются. В нашей стране наибольшей популярностью пользуется методика, разработанная В.В. Ермаковым и В.В. Ковальским [4], согласно которой весь селен почвы делится на пять фракций: первая – растворимая в K_2SO_4 , представленная органическими соединениями, селенатами и селенитами; вторая – сорбированные селениты, извлекаемые методом изотопного обмена; третья – формы селена, извлекаемые HCl и NH_4OH (без идентификации); четвертая – органические соединения селена, растворимые в NH_4OH ; пятая – элементарный селен и селениды, извлекаемые азотной кислотой.

Для растений и животных селен ядовит, его соли опаснее солей мышьяка, но в малых количествах он необходим для жизни. Микроорганизмы, аналогичные серобактериям, окисляют элементарный селен до селенитов ($\text{Se}^0 \rightarrow \text{SeO}_3^{2-}$). В целом биофильность селена высокая: лишь в 2 раза меньше, чем у серы и превышает биофильность калия и кальция.

Общее содержание селена в растениях зависит от типа почвы, величины pH , окислительно-восстановительного потенциала, запасов селена в почве, осадков, температуры окружающей среды и фазы роста и развития самого растения. Основным фактор – кислотность почвы. Обычное среднее содержание элемента в растениях на щелочных почвах составляет 0,01-10,0 мг/кг сухой массы, на кислых почвах определяется от «следовых» количеств до 0,2 мг/кг. На почвах с низким содержанием селена установлена высокая эффективность селеновых удобрений [13-15].

Недостаток селена в почве приводит к нарушению обмена веществ у растений и снижает их продуктивность. Однако, из-за узкого диапазона между дефицитом и токсическим количеством его для растений, применение селеновых удобрений должно строго базироваться на данных агрохимических анализов почвы на содержание элемента.

Валовое содержание селена в черноземе выщелоченном зависело от условий агрогенеза (таблица 59).

Таблица 59 – Содержание селена в черноземе выщелоченном

Слой почвы, см	Se валовой, мг/кг	Se водорастворимый, % от валового	Se валовой, мг/кг	Se водорастворимый, % от валового
	без удобрений		N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	
0-20	0,34	14,9	0,32	16,1
21-40	0,29	14,1	0,28	15,6

Количество селена было больше в почве неудобренной в течение трех ротаций 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота. В систематически удобряемой почве за 33 года валовое содержание элемента снизилось на 5,9 % в пахотном и 3,4 % – подпахотном слое. Видимо под воздействием вносимых на полях севооборота минеральных удобрений, почвенные запасы селена интенсивнее вовлекались в биологический круговорот. Поступление селена в виде примеси с минеральными удобрениями не компенсируется его отчуждением с полей возросшими урожаями сельскохозяйственных культур.

В отношении водорастворимых соединений селена в почве в условиях агрогенеза наблюдаются другие закономерности. Под воздействием минеральных удобрений доля водорастворимого селена в валовом его содержании возросла на 1,2 % в пахотном и 1,5 % – подпахотном слое. Иными словами, при систематическом применении минеральных удобрений подвижность селена возрастает, т.е. почва интенсивней «расстается» с этим элементом [16].

Выводы. Систематическое применение минеральных удобрений на полях севооборота приводит к снижению валового содержания селена в черноземе выщелоченном. Удобрения способствуют повышению подвижности этого элемента и более интенсивному вовлечению его в биологический круговорот.

Литература

1. Башкин В.Н. Биогеохимия / В.Н. Башкин. – М.: Высшая школа, 2008. – 423 с.
2. Вихрева В.А. Селен в растительном мире / В.А. Вихрева, В.Н. Хрянин, А.Ф. Блинохватов / Селен в биосфере. – Пенза: ПензГСХА, 2001. С.96-153.

3. Вихреева В.А. Селен в жизни растений / В.А. Вихреева, А.А. Блиновхатов, Т.В. Клейменова. – Пенза: ПензГСХА, 2012. – 222 с.
4. Ермаков В.В. Биологическое значение селена / В.В. Ермаков, В.В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 300 с.
5. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М: Мир, 1989. – 439 с.
6. Орлов Д.С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, И.Н. Лозановская. – М: Высшая школа, 2002. – 334 с.
7. Постников А.В. Новое в использовании селена в земледелии / А.В. Постников, Э.С. Илларионова. – М: ВНИИТЭИагропром, 1991. – 44 с.
8. Потатуева Ю.А. Селен в почвах и растениях / Ю.А. Потатуева // Агрохимия. 1976. №2. С. 149-154.
9. Серегина И.И. Роль селена в реализации адаптивной способности пшеницы в условиях окислительного стресса / И.И. Серегина, Н.Т. Нилловская. – М.: ВНИИА, 2015. – 152 с.
10. Сычев В.Г. Проблема селена и ее решение агрохимическими средствами. Состояние исследований по проблеме селена в агроэкосистемах. Сообщение 1. / В.Г. Сычев, А.Н. Аристархов, Т.А. Яковлева, В.И. Панасин, А.С. Бусыгин // Плодородие. 2015. №4. С. 2-5.
11. Торшин С.П. Биогеохимия и агрохимия селена и методы устранения селенодефицита в пищевых продуктах и кормах / С.П. Торшин, Т.М. Удельнова, Б.А. Ягодин // Агрохимия. 1996. № 8-9. С. 127-143.
12. Тутельян В.А. Селен в организме человека: метаболизм антиоксидантные свойства, роль в канцерогенезе / В.А. Тутельян, В.А. Княжев, С.А. Хотимченко, Н.А. Голубикина, Н.Е. Кушлинский, Я.А. Соколов. – М.: Изд-во РАМН, 2002. – 224 с.
13. Шеуджен А.Х. Агрохимия селена / А.Х. Шеуджен, Е.А. Яковлева, А.Ю. Хуако // Энтузиасты аграрной науки. – Краснодар; КубГАУ, 2013. Вып. 15. С. 259-268.
14. Шеуджен А.Х. Биогеохимия селена / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, И.А. Лебедевский // Энтузиасты аграрной науки. Краснодар: КубГАУ, 2013. Вып. 15. С. 242-258.
15. Шеуджен А.Х. Селеновые удобрения на посевах риса / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, И.А. Дорошев, С.В. Есипенко. – Майкоп: ООО «Полиграф-ЮГ», 2017. – 92 с.
16. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2015.-232 с.
17. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 3. Экспериментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 755 с.

7.4.1.4 Литий

Необходимо отметить, что роль лития в жизни растений и до настоящего времени остается пока еще невыясненной. Однако задача изучения применения литиевых отходов обогатительных фабрик и химической промышленности в сельском хозяйстве в связи с широким внедрением лития в промышленность становится все более актуальной. По-видимому, литию в сельском хозяйстве принадлежит большое будущее.

П.А. Власюк, 1969

Кларк лития в земной коре равен $5 \cdot 10^{-5}$, в водах Мирового океана – $1,5 \cdot 10^{-5}$, почве – $3 \cdot 10^{-3}$, растениях – $1 \cdot 10^{-5} \%$; биофильность – $1,8 \cdot 10^{-2}$, талласофильность – $6 \cdot 10^{-3}$, технофильность – $5 \cdot 10^{-5}$.

Для лития характерна слабовыраженная щелочность, по сравнению с другими щелочными элементами, высокий парамагнетизм и гидрофильность. Многие соединения этого элемента токсичны. Наиболее растворимы галогениды, сульфид и гидрид лития, труднорастворимы – карбонат и фосфат лития, нерастворим – силикат лития. Для него свойственно концентрирование в кислых магматических породах и осадочных алюмосиликатах (таблица 60; [3]).

Таблица 60 – Содержание лития в магматических и осадочных породах, мг/кг

Магматические породы	Содержание	Осадочные породы	Содержание
Ультраосновные	0,5-5	Глины	60
Основные	6-20	Сланцы	50-75
Средние	20-28	Песчаники	10-40
Кислые	15-45	Известняки	5-20

В эндогенных процессах для лития характерны исключительная фторофильность и высокая хлорофильность – образование флюидов с фтором и хлором. Близость ионных радиусов Li^+ , Fe^{2+} и Mg^{2+} позволяет литию входить в решетки магнезиально-железистых силикатов – пироксенов и амфиболов. В гранитоидах он содержится в виде изоморфной примеси в слюдах. При выветрива-

нии горных пород литий сравнительно легко высвобождается и затем захватывается глинистыми минералами. В небольшой степени он фиксируется также в органическом веществе, поэтому содержание лития в почвах контролируется больше условиями почвообразования, нежели его начальным содержанием в материнских породах.

В связи с различным количеством лития в минералах и почвообразующих породах содержание его в различных биогеохимических зонах и провинциях неодинаково. Кроме того, в почвах одного генетического типа содержание лития подвержено значительным колебаниям [5,6,7].

В таблице 61 приведены данные А.П. Виноградова [2] по содержанию лития в основных типах почв Российской Федерации и стран ближнего зарубежья.

Таблица 61 – Содержание лития в пахотном 0-20 см слое почвы России и стран ближнего зарубежья

Почвы	Содержание лития, мг/кг	
	среднее	пределы колебаний
Подзолистые	34	17-60
Бурые лесные	36	25-56
Каштановые	37	31-48
Черноземы	40	36-46
Сероземы	42	23-53
Красноземы	17	10-25

Среднее содержание лития колеблется от 17 мг/кг в красноземах до 42 мг/кг в сероземах. Наблюдается ясно выраженная закономерность увеличения валового содержания лития при зональном перемещении с севера на юг. Это объясняется переходом к почвам более тяжелого гранулометрического состава и меньшей их выщелаченностью [4,5].

Распределение лития в профиле почвы подчиняется общим тенденциям циркуляции почвенных растворов. Однако оно может быть и сильно неупорядоченным. Так, З.В. Пацукевич, М.И. Герасимова и Т.М. Дианова [6] в профиле распределения элемента не обнаружили ни четкой элювиально-иллювиальной дифференциации, ни биогенного захвата даже в почвах, где присутствуют все

условия для этого: дерновых глубокоподзоленных с их резко выраженной текстурной дифференциацией профиля и черноземах с высоким содержанием гумуса. Очевидно лишь некоторое накопление лития в горизонте A_1B многих почв. По-видимому, для лития, элемента с ярко выраженными литофильными свойствами, биогенная аккумуляция весьма незначительна, о чем свидетельствует низкое содержание его в растениях и малый коэффициент биологического поглощения 0,003-0,25 [3,9].

По данным А.П. Виноградова [2], содержание лития по почвенным горизонтам в подзолистых почвах изменяется параллельно распределению калия; серые лесные почвы по содержанию и распределению лития напоминают подзолистые; более глубокие горизонты несколько богаче этим элементом, чем лежащие выше. В черноземах во всех почвенных горизонтах содержание лития более или менее прямо пропорционально количеству калия, но лишь в общих чертах напоминает его распределение. В большинстве почв гумусовые горизонты содержат повышенное количество лития, однако верхние горизонты дерново-подзолистых почв тундры обеднены литием, а максимум его приходится на более глубокие горизонты.

Валовое содержание лития в почвах зависит от их генезиса, особенностей почвообразовательного процесса и характера материнской породы. Горные почвы богаче литием, чем равнинные, что является следствием их меньшей выветренности и более сильного влияния коренных пород. В почвах, сформированных на песчано-грубообломочных аллювиальных или моренных отложениях, общий уровень содержания лития ниже, чем в почвах на кристаллических породах. Пониженное содержание этого элемента установлено для светлых песчаных почв, особенно если они образовались на ледниковых отложениях в условиях гумидного климата. В аридной климатической зоне литий вовлекается в восходящее движение почвенных растворов и может осаждаться в верхних горизонтах в составе легкорастворимых солей – хлоридов, сульфатов и боратов. Этими реакциями объясняется относительно высокое содержание его в солончаках, каштановых почвах и почвах прерий. Повышенные концентрации лития выявлены и в интразональных молодых почвах, развитых на аллювиальных отложениях. В начале почвообразовательного процесса литий более подвижен, затем он становится более консервативным из-за сильного связывания глинистыми минералами [3,5,8].

Содержание лития в почве определяется ее гумусированностью, гранулометрическим составом и величиной рН. Его накопление в солонцеватых и оподзоленных почвах связано с развитием в них иллювиальных горизонтов.

На основании обобщения и критического анализа литературы, можно выделить 4 формы лития в почвах: 1) литий почвенного раствора – часть лития почвы, находящаяся в почвенном растворе, в наибольшей степени подверженная внешнему воздействию и тесно связанная со всеми формами лития в почве; 2) литий обменный – часть лития почвы, расположенная на поверхности органоминеральных коллоидов, в основном способствующая достижению динамического равновесия элемента за счет процессов сорбции и десорбции, взаимодействуя с необменным литием; 3) литий необменный – часть лития почвы, находящаяся в структуре минералов и органоминеральных смектитовых комплексов, участвующая в формировании равновесной системы; 4) литий минерального скелета – часть лития почвы, обусловленная почвообразующими литийсодержащими первичными и вторичными минералами [7-9].

Литий структурно не входит в состав каких-либо биологических соединений, однако, является активным регулятором метаболических процессов: выполняет специфические функции в азотном и углеводном обмене, а также в метаболизме нуклеиновых кислот и алкалоидов. Количество лития в растениях различных семейств сильно колеблется. В пасленовых его накапливается 7,96 мг/кг, фиалковых – 2,85, лютиковых – 2,44, гвоздичных – 2,18, бурачниковых – 1,85 мг/кг сухого вещества. Среднее содержание этого элемента в двудольных растениях составляет 1,33 мг/кг, однодольных – 0,85 мг/кг сухого вещества [11].

Для характеристики обеспеченности растений литием наиболее важным считается содержание в почве водо- и кислоторастворимых форм элемента, т. е. литий почвенного раствора и обменный. Количество этих форм соединений лития в почве в значительной степени зависит от содержания гумуса и карбонатов кальция, а также мощности гумусового горизонта. Значительные изменения претерпевают формы лития в верхних горизонтах профиля под влиянием эрозионных процессов, которые способствуют выносу его из верхнего горизонта и заметному уменьшению их содержания в этих слоях почвы.

В пахотном слое чернозема выщелоченного после завершения третьей ротации зерно-травяно-пропашного севооборота валового лития содержалось 43,5 мг/кг, подпахотном 46,0 мг/кг (таблица 62).

Таблица 62 – Содержание лития в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Литий валовой	Форма соединений лития		
			водорастворимая	кислоторастворимая	кислотнонерастворимая
Без удобрений	0-20	43,5	2,0	17,8	25,7
	21-40	46,0	1,6	18,1	27,9
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	40,5	2,7	17,9	22,6
	21-40	45,5	1,8	18,3	27,2

После 33 лет внесения минеральных удобрений на полях севооборота содержание лития в почве уменьшилось на 6,9 % – в пахотном и на 1,1 % – подпахотном слое. Это является следствием изменения физико-химических свойств почвы под воздействием применяемых удобрений, в результате чего усилилось выщелачивание элемента из верхнего слоя. В какой-то степени оно обусловлено и увеличением выноса элемента с полей прибавкой урожая.

Длительное применение минеральных удобрений на полях севооборота приводит к повышению подвижности лития в почве. Доля водорастворимой и кислоторастворимой форм соединений этого элемента возросла с 11,2 до 15,1 % в подпахотном и с 8,8 до 9,8 % подпахотном слое. При этом содержание в почве кислоторастворимой формы осталась практически без изменений.

При длительном применении минеральных удобрений на черноземе выщелоченном кислотнонерастворимая форма соединений лития в пахотном слое интенсивнее вовлекается в биологический круговорот нежели в подпахотном. В пахотном слое почвы его количество уменьшилось на 8,6 %, а в подпахотном всего лишь на 2,5 % [10].

Выводы. Содержание лития в черноземе выщелоченном превышает его кларк в почве (30 мг/кг). Для лития, элемента с ярко выраженными литофильными свойствами, биогенная аккумуляция весьма незначительна, о чем свидетельствует его меньшее содержание в пахотном (43,5 мг/кг), нежели в подпахотном слое (46,0 мг/кг) слое почвы.

Длительное применение минеральных удобрений приводит к повышению подвижности лития и более быстрому «расставанию» пахотного слоя почвы с этим элементом. В обозримом будущем нельзя исключить необходимость включения лития в систему удобрения сельскохозяйственных культур.

Литература

1. Боровик-Романова Т.Ф. Содержание лития в растениях и почвах / Т.Ф. Боровик-Романова, Е.А. Белова // Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине. – М.: Наука, 1974. С. 119-122.
2. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
3. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
4. Охрименко М.Ф. Содержание лития в растениях / М.Ф. Охрименко, О.С. Уяздовская / Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. – Киев: Наукова думка, 1967. Вып. 3. С. 54-56.
5. Охрименко М.Ф. Содержание лития в почвах и растениях / М.Ф. Охрименко, Л.М. Кузьменко // Микроэлементы в окружающей среде. -Киев: Наукова думка, 1980. С. 119-123.
6. Пацукевич З.В. Литий в почвах Алтайского края / З.В. Пацукевич, М.И. Герасимова, Т.М. Дианова // Содержание и формы соединений микроэлементов в почвах. – М.: МГУ, 1979. С. 317-323.
7. Шеуджен А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
8. Шеуджен А.Х. Литий в питании и продуктивности риса / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Б.В. Аношенков, А.Ю. Тхагапсу. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2008. – 136 с.
9. Шеуджен А.Х. Агробиогеохимия / А.Х. Шеуджен – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877с.
10. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
11. Ягодин Б.А. Физиологическая роль лития и факторы, влияющие на его поступление в растения / Б.А. Ягодин, Г.А. Ступакова, С.Б. Виноградова //Агрохимия. 1989. № 7. С. 116-122.

7.4.2 Неэссенциальные ультрамикрорезлементы

7.4.2.1 Титан

Концентрация титана в организмах ясно указывает, что титан нужен для организмов, должен иметь определенно жизненно важные функции.

В.И. Вернадский, 1937

Кларк титана в земной коре и литосфере равен $6,1 \cdot 10^{-1} \%$, почве – $4,6 \cdot 10^{-1}$, растениях – $1 \cdot 10^{-4}$, водах Мирового океана $< 1 \cdot 10^{-7}$; биофильность – $2,8 \cdot 10^{-3}$, талассофильность – $1 \cdot 10^{-5}$, технофильность – $1 \cdot 10^{-6}$.

Титан распространен в магматических и осадочных породах (таблица 63; [3,8]).

Таблица 63 – Содержание титана в магматических и осадочных породах, %

Магматические породы	Содержание	Осадочные породы	Содержание
Ультраосновные	0,03-0,30	Глины	0,38-0,46
Основные	0,90-1,38	Сланцы	0,44-0,46
Средние	0,35-0,80	Песчаники	0,15-0,35
Кислые	0,12-0,34	Известняки	0,03-0,04

Основную роль в концентрации титана играет магматизм. Содержание титана в основных породах составляет 0,90-1,38 %. Все остальные магматические породы содержат его значительно меньше – 0,03-0,80 %. Наименьшим количеством титана характеризуются пески и известняки – 0,03-0,35 %. В глинах и сланцах содержание его несколько выше – 0,38-0,46 %.

В почвообразующих породах Центрального Черноземья Российской Федерации диапазон колебаний в содержании титана довольно значителен – от 1400 до 6600 мг/кг [5]. Еще в более широких пределах варьирует его количество в почвообразующих породах Краснодарского края – 513-9330 мг/кг. В преобладающих почвообразующих породах степного ландшафта – лессовидных суглинках и глинах – оно составляет 1349-6771 мг/кг, в аллювиальных отложениях пойм и дельт рек – 1122-5838, делювиальных и элювиальных

глинах предгорий и гор – 3300-9333, в мергелях и известняках – 513-6166 мг/кг. Наибольшая неоднородность в распределении титана характерна для почвообразующих пород предгорий и гор, наименьшая – для степного ландшафта. В почвообразующих породах степной зоны и долин рек различия в содержании этого элемента во многом определяются их механическим составом. Больше его обычно в глинистых породах. В предгорьях и особенно горных ландшафтах, где почвообразующие породы весьма разнообразны, различия в распределении титана связаны не только с изменением механического состава, но в значительной степени и с более разнообразным их минералогическим и химическим составом.

Титан относится к группе слабоподвижных и инертных элементов. Минералы титана отличаются высокой стойкостью в процессах выветривания и почвообразования. В ходе выветривания этот элемент мигрирует и накапливается главным образом механическим путем в форме первичных минералов-россыпей. Истинная миграция его возможна лишь в очень кислых растворах, в противном случае происходит гидролиз солей. При химическом выветривании минералов титан освобождается в виде двуокиси в коллоидальной форме. В результате осадочной дифференциации кристаллические зерна устойчивых титансодержащих минералов концентрируются в песках, а коллоидальная двуокись титана – в глинистом материале [1].

Накопление титана в почвах зависит от материнской породы, на которой они образуется, и от интенсивности почвообразовательного процесса. Богаче им почвы, формирующиеся на основных породах, беднее – песчаные, лессовые, болотные и известковые.

Содержание титана в поверхностном слое почв мира в большинстве случаев колеблется в пределах 0,01–1,0 % [3,10]. В пахотном слое большинства почв Российской Федерации и стран ближнего зарубежья его содержится 0,01-0,60 %. Торфяно-болотистые почвы тундры и красноземы наиболее богаты титаном вследствие их формирования на основных породах. Почвы средней полосы – подзол и серые лесные – содержат меньшее количество этого элемента. Несколько больше его в черноземах и каштановых почвах. Наименьшее количество титана находится в сероземах (таблица 64; [2,7]).

Содержание титана в пахотном слое почв Краснодарского края приближается к его кларку. Самым низким его количеством при сравнительно равномерном распределении отличаются черно-

земы среднегумусные предгорно-степной зоны (3300 мг/кг). Мало титана и в лёссовидных породах, на которых развиваются эти черноземы. Выщелоченные и слабогумусные черноземы степной зоны края содержат титана соответственно 3600 и 3900 мг/кг, слитые черноземы – 6160 мг/кг [4,6].

Таблица 64 – Валовое содержание титана в почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья, %

Почвы	Содержание, %
Торфяные болотные (тундра)	0,52
Подзолистые	0,38
Серые лесные	0,44
Черноземы	0,45
Каштановые	0,41
Сероземы	0,21
Красноземы	0,71

Титан находится в почве в виде твердых минералов – конечных продуктов выветривания основных пород, а также титаната железа и в рассеянном виде – в алюмосиликатах. Значительная часть его находится в неветренных частицах глин, слюдах, амфиболе, лепидомелане. Небольшая часть титана в почве представлена в коллоидной форме – гидратом TiO_2 , который образуется в процессе разрушения титаносодержащих минералов. Этот элемент может находиться в почвах и в виде $Ti(HPO_4)_2$, что является новообразованием. Ввиду неспособности титана давать соединения, легко растворимые в условиях биосферы, количество его в почвенном растворе ничтожно мало – $7 \cdot 10^{-6} \%$, несмотря на высокое содержание в почвах. На то, что растворимость титана в почвах весьма ограничена, указывает латеритный процесс. В тропиках и субтропиках, где идет интенсивное выветривание, при этом процессе из верхних горизонтов выносятся огромное количество свободного $SiO_2 \cdot nH_2O$, $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ и $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$; содержание же TiO_2 к верхним горизонтам этого профиля заметно нарастает. Это значит, что TiO_2 остается на месте [2].

Титан является постоянным компонентом растений и выполняет в них важные физиолого-биохимические функции. Двух-, трех- и четырехвалентные ионы титана легко переходят друг в друга по схеме $Ti^{2+} \rightleftharpoons Ti^{3+} \rightleftharpoons Ti^{4+}$. Особый интерес представляют соединения

Ti³⁺, для которых в зависимости от условий среды, наблюдается как понижение, так и повышение валентности. Вследствие этого возможно участие соединений этого элемента в разнообразных окислительно-восстановительных реакциях в организме. В частности, титан выполняет каталитические функции при фиксации азота симбиотическими микроорганизмами, и при фотоокислении соединений азота у растений оказывает положительное влияние на интенсивность циклического и нециклического фосфорилирования в листьях растений. Под воздействием этого элемента также ускоряются процессы фотовосстановления, т. е. реакции перехода электрона по электрон-транспортной цепи. С урожаем сельскохозяйственных культур ежегодно с полей отчуждается 75-2700 г/га титана [7,9].

Средний уровень содержания титана в черноземе выщелоченном близок к кларку почв мира (таблица 65). Количество его постепенно возрастает с глубиной по профилю. Разница в содержании между материнской породой и иллювиальным горизонтом составляет 500-900 мг/кг, или 7,4-13,2 %, а в отношении гумусового горизонта это различие уже достигает до 1000-2500 мг/кг, или 14,7-36,8 %. Следовательно, биогенного накопления титана в гумусовом слое чернозема выщелоченного не происходит. Главным фактором, определяющим его количество в данной почве, является материнская порода.

Таблица 65 – Содержание титана в черноземе выщелоченном

Горизонт	Глубина взятия образца, см	pH _{вод.}	Содержание титана, мг/кг
A ₁	0-10	6,6	4300
	30-40	7,0	5800
B ₁	70-80	7,2	5900
B ₂	100-120	7,4	6300
C	210-220	8,4	9800

Научно-обоснованная система удобрения культур севооборота позволяет решать задачи бездефицитного баланса элементов питания в системе «почва-растение-удобрение», увеличения количества и улучшения качества урожая. В то же время их применение – это активное влияние на природную среду. В почву с вносимыми удобрениями поступает большой набор химических элементов. Кроме того, в силу своей физиологической кислотности или ще-

лочности, удобрения способны в той или иной степени влиять на физико-химические свойства почвы.

Применение минеральных удобрений в научно-обоснованных дозах на полях севооборота в течение 33 лет практически не отразилось на содержании титана в черноземе выщелоченном (таблица 66). В пахотном слое его количество возросло лишь на 2,1 %, а в подпахотном – оно такое же, как и в севообороте без удобрений. Обогащение верхнего слоя почвы титаном происходит вследствие десиликации горных пород при выветривании. Из-за малой растворимости минералов титана они более продолжительное время остаются на месте, а, значит, содержание элемента в почве возрастает. Как известно, минеральные удобрения, применяемые на полях севооборота, повышают интенсивность биологического круговорота веществ и тем самым усиливают процесс разрушения почвообразующих пород [11].

Таблица 66 – Влияние систематического применения минеральных удобрений на содержание титана в черноземе выщелоченном

Слой почвы, см	Содержание титана, мг/кг	
	без удобрений	N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀
0–20	4700	4800
21–40	5600	5600

Выводы. Почвообразующие породы в Краснодарском крае, особенно в горной зоне, где они весьма разнообразны, заметно различаются по содержанию титана. Мало его в известняках, мергелях, песчаниках, лессовидных суглинках, аллювиальных отложениях пойм и дельт рек. Богаты этим элементом аллювий глинистый, лессовидные глины и тяжелые суглинки. Выветривание почвенных минералов и почвообразование приводят к более равномерному распределению титана в почвах, особенно в горной зоне края с пестрым сочетанием почвообразующих пород. Содержание титана в черноземе выщелоченном близко к кларку почв мира – 4600 мг/кг. Количество его от материнского горизонта к гумусово-аккумулятивному постепенно убывает, т.е. этот элемент характеризуется низким биологическим захватом. Вносимые на полях минеральные удобрения, повышая интенсивность биологического кру-

говорота веществ, усиливают процесс разрушения почвообразующих пород и, как следствие, повышают титановый статус почвы.

Литература

1. Вадковская И.К. Химические элементы и жизнь в биосфере / И.К. Вадковская, К.И. Лукашев. – Минск: Вышэйшая школа, 1981. – 175 с.
2. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
3. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
4. Корсунова М.И. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов на Кубани / М.И. Корсунова. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 232 с.
5. Протасова Н.А. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ca, Be, Ba, Sr, B, J, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья / Н.А. Протасова, А.П. Щербаков. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2003. – 368 с.
6. Тонконоженко Е.В. Титан в почвах и растениях Краснодарского края / Е.В. Тонконоженко, М.И. Корсунова // Почвоведение. 1974. № 3. С. 38–45.
7. Шеуджен А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
8. Шеуджен А.Х. Агрохимия и физиология питания риса / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2005. – 1012 с.
9. Шеуджен А.Х. Агробиогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.
10. Шеуджен А.Х. Физиолого-биохимические основы применения литиевых удобрений в земледелии / А.Х. Шеуджен, Н.Н. Нещадим, Т.Н. Бондарева // Тр. КубГАУ. 2012. № 2(35). С. 105-116.
11. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.

7.4.2.2 Никель

Эффективность никеля как элемента питания определяется тем влиянием, которое он оказывает на физиолого-биохимические процессы в растениях. При очень низких дозах влияние никеля на эти процессы в ряде случаев благоприятно для роста, развития и продуктивности растений, при более высоких дозах он отрицательно действует на растения, нарушая нормальный ход обмена веществ.

А.С. Алов, 1964

Кларк никеля в земной коре равен 0,02 %, литосфере – $8 \cdot 10^{-3}$, водах Мирового океана – $3 \cdot 10^{-7}$, почве – $4 \cdot 10^{-3}$, растениях – $5 \cdot 10^{-5}$ %; биофильность – $1,4 \cdot 10^{-2}$, талассофильность – $3 \cdot 10^{-4}$, технофильность – $7 \cdot 10^{-8}$.

Никель по частоте встречаемости в земной коре занимает 25 место. Наиболее высокое содержание этого элемента характерно для ультраосновных пород (1400-2000 мг/кг); с увеличением кислотности горных пород его концентрация уменьшается до 5-20 мг/кг. В осадочных породах он присутствует в количестве от 5 до 90 мг/кг, причем наиболее высокие значения характерны для глинистых отложений, а самые низкие – для песчаников (таблица 67; [3,13,14]).

Таблица 67 – Содержание никеля в магматических и осадочных горных породах, мг/кг

Магматические породы	Содержание	Осадочные породы	Содержание
Ультраосновные	1400-2000	Глины	40-90
Основные	130-160	Сланцы	50-70
Средние	5-55	Песчаники	5-20
Кислые	5-20	Известняки	7-20

В изверженных породах никель изоморфно замещает двухвалентные катионы железа и магния, что объясняется близостью ионных радиусов этих элементов (γ Mg²⁺ и Ni²⁺ – 0,078 нм). В магматических, гидротермальных и гипергенных процессах этот элемент энергично мигрирует. При дифференциации базальтовой

магмы возникают медно-никелевые сульфидные месторождения, в гидротермальных системах – сульфидные никель-кобальтовые, а в биосфере – силикатные месторождения никеля в коре выветривания ультраосновных пород. Таким образом, никель проявляет и сидерофильные (в ультраосновной магме, земной коре), и халькофильные (при дифференциации основной магмы, в гидротермах), и литофильные (в биосфере) свойства [1,4,6].

В континентальных отложениях никель присутствует главным образом в виде сульфидов и арсенидов и часто замещает железо в железомagneзиальных соединениях. Он также ассоциируется с карбонатами, фосфатами и силикатами. При выветривании горных пород никель легко высвобождается, а затем осаждается преимущественно с оксидами железа и марганца. Однако, подобно катионам Mn^{2+} и Fe^{2+} , двухвалентный никель относительно стабилен в водных растворах и способен мигрировать на значительные расстояния. При выветривании никельсодержащих горных пород возможно образование глинистого минерала гарниерита $(Ni,Mg)SiO_3 \cdot nH_2O$. Последнее главным образом происходит в условиях тропического климата. Органическое вещество обнаруживает способность к абсорбции никеля, вероятно, поэтому он концентрируется в угле и нефти [18].

Как показали исследования Е.В. Тонконоженко [7,8], никель в почвообразующих породах равнинно- и предгорно-степной части Краснодарского края распределен довольно равномерно. Наименьшее содержание его (8 мг/кг) установлено в песках, а наибольшее (93 мг/кг) – в лессовидных глинах зоны малогумусных черноземов. Также богаты никелем третичные рудные и гипсовые глины, оливково-бурые глины, аллювий глинистый. Содержание его в осадочных породах в определенной степени зависит от их механического состава. Глинистые породы обычно богаче им. В то же время имеют место и некоторые отклонения. Так, лессовидные тяжелые суглинки и глины предгорно-степной зоны края, где распространены среднегумусные черноземы, менее обеспечены этим элементом, чем степные зоны, где черноземы слабогумусные (таблица 68; [7,8]).

Общее содержание никеля в почвообразующих породах предгорий и гор подвержено бóльшим колебаниям, чем в породах равнинно-степной части края. В равнинно-степной зоне эти различия связаны с изменением механического состава пород, а в предгорно-

горной зоне – с их литологическими особенностями. Наибольшее разнообразие по содержанию никеля в этом регионе характерно для карбонатных пород – мергелей, известняков, глинистых известняков. В них установлено и наибольшее содержание этого элемента [8].

Таблица 68 – Содержание никеля в почвообразующих породах Краснодарского края, мг/кг

Почвообразующие породы	Среднее содержание	Пределы колебаний
Равнинно- и предгорно-степная часть		
Лессовидные тяжелые суглинки и глины зоны малогумусных черноземов	62,3	46-93
Лессовидные тяжелые суглинки и глины зоны среднегумусных и тучных черноземов	36,0	28-48
Лессовидные средние и легкие суглинки всей степной части	34,7	23-41
Оливково-бурые глины зоны черноземов слитых	66,7	36-89
Лессовидные тяжелые суглинки Тамани	41,5	30-59
Третичные рудные и гипсоносные глины Тамани	70,3	58-87
Пески	14,7	8-21
Аллювий глинистый и тяжелосуглинистый	61,9	38-89
Аллювий средне- и легкосуглинистый	32,7	10-56
Аллювий соленосный глинистый	56,3	33-78
Предгорно-горная часть		
Делювий глинистый	55,2	29-126
Делювий суглинистый	20,7	18-23
Элювий глинистых сланцев, третичных рудных глин	41,4	21-56
Известняки, мергели	33,5	4-83
Глинистые известняки	90,0	21-138
Пески	16,0	8-30

Никель в почве обычно содержится в количестве 20-50 мг/кг, а в загрязненных почвах – до 1000 мг/кг. Предельно допустимая концентрация (ПДК) этого элемента в почвах сильно варьирует в зависимости от реакции почвенного раствора, окислительно-восстановительного потенциала и буферной способности почвы, фракционно-группового состава гумуса, а также условий агрогенеза. Ориентировочно-допустимая концентрация (ОДК) в песчаных и

супесчаных почвах равна 20 мг/кг, кислых ($pH_{KCl} < 5,5$) суглинистых и глинистых – 40, близких к нейтральным ($pH_{KCl} > 5,5$) суглинистых и глинистых – 80 мг/кг. ПДК подвижной формы этого элемента, т. е. извлекаемой из почвы буферной вытяжкой (ацетатно-аммонийным буферным раствором pH 4,8), составляет 4 мг/кг [10].

Самое высокое содержание никеля наблюдается в глинистых и суглинистых почвах, в почвах на основных и вулканических породах и в почвах, богатых органикой. Особенно высокими уровнями содержания отличаются торфянистые серпентинитовые почвы, в которых этот элемент присутствует в виде легкорастворимых органических комплексов. Почвы аридных и семиаридных регионов также характеризуются высокими концентрациями никеля.

Среднее валовое содержание никеля в почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья колеблется от 11 до 33 мг/кг. В дерново-подзолистых почвах этот элемент содержится в количестве 11 мг/кг, лесных – 33, каштановых и бурых – 20, черноземах – 30, солончаках и солонцах – 25 мг/кг. По данным Б.К. Шакуры [12], валовое содержание никеля в профиле несмытых горно-лесных коричневых почв Закавказья колеблется в пределах 14-55 мг/кг. Послесельные коричневые (садовые) почвы содержат его в пределах 40-140 мг/кг. Никель подвержен биобиологическому накоплению в почве. Максимальное количество никеля обнаруживается в верхнем горизонте. Количество никеля в профиле черноземов близко к его содержанию в горно-луговых почвах и колеблется в пределах 14-46 мг/кг. В эродированных разностях горных черноземов никель содержится в минимальном количестве – 10-28 мг/кг. Для каштановых и светло-каштановых почв характерна аккумуляция никеля в верхних горизонтах. Содержание никеля в профиле этих почв составляет 17-45 мг/кг. В перегнойном горизонте дерново-подзолистых почв, развитых на эоловых песчаных отложениях, никеля содержится $(0,5-1,4) \cdot 10^{-3} \%$ [5]. Содержание никеля в почвах во многом определяется его количеством в материнских породах. Однако уровень концентрации никеля в верхнем слое почв зависит также от почвообразующих процессов и техногенного загрязнения.

Почвы Краснодарского края отличаются большой неоднородностью по содержанию никеля (таблица 69; [7,8]). В среднем в пахотном (0–25 см) слое почв равнинно- и предгорно-степной части Краснодарского края несколько больше никеля, чем в их почвообразую-

щих породах. Если в почвообразующих породах минимальное количество его 8 мг/кг, то в почвах – 15; максимальное – 93 и 159 мг/кг соответственно. Таким образом, в почвах он распределен равномернее, чем в породах. При более высоком накоплении никеля в почвах, чем в породах, происходит некоторое выравнивание его содержания. Вместе с тем в черноземах слабогумусных и солонцах луговых наблюдается значительное варьирование ($V = 40 \%$) содержания никеля.

Таблица 69 – Валовое содержание никеля в пахотном слое почв Краснодарского края, мг/кг

Почвы	Содержание	Коэффициент вариации, %
Предгорные и горные зоны		
Серые лесостепные	36,9±2,75	42,9
Бурые горно-лесные	33,9±2,78	36,8
Перегнойно-карбонатные	52,3±3,72	34,9
Горно-луговые	59,1±3,46	26,3
Равнинно- и предгорно-степная часть		
Черноземы малогумусные карбонатные	58,9±2,48	25,3
Черноземы малогумусные выщелоченные	54,7±2,81	26,2
Черноземы слитые	50,1±3,71	27,7
Черноземы среднегумусные	38,3±2,34	22,1
Черноземы слабогумусные	37,3±3,98	40,0
Лугово-черноземные	58,2±3,29	33,5
Аллювиально-луговые суглинистые	52,9±3,36	22,9
Солонцы, солончаки	54,0±5,90	39,4

Поскольку содержание никеля в почвах определяется его количеством в почвообразующих породах, почвы предгорной и горной зоны края отличаются большей неоднородностью в распределении этого элемента. Если коэффициент вариации его содержания в различных почвах степной зоны находится в пределах 22-40 %, то в почвах предгорий и гор – 26–43 %. Обращает на себя внимание более низкое, чем в почвах на известковых породах, среднее содержание никеля в серых и бурых почвах, развивающихся на делювиальных и делювиально-элювиальных породах, сравнительно бедных этим элементом [8].

Распределение никеля в почвенном профиле зависит от содержания как органического вещества, так и аморфных оксидов и глинистой фракции, которые определяются типом почвы. Исследо-

вание распределения никеля по генетическим горизонтам чернозема выщелоченного Западного Предкавказья, выполненное Е.В. Тонконоженко [7], позволяет сделать вывод об отсутствии активного биологического захвата этого элемента (таблица 70). Процессы выщелачивания этого элемента здесь преобладают над процессами биологического накопления и подтягивания с почвенными растворами к верхней толще почвы.

Таблица 70 – Распределение никеля по профилю чернозема выщелоченного

Горизонт	Глубина взятия образца, см	pH	Содержание никеля, мг/кг
A _n	0-10	6,6	47
A ₁	20-30	6,3	71
B ₁	60-70	6,4	81
B ₂	90-100	6,6	71
C ₂	160-170	7,0	59

В почвах никель тесно связан с оксидами железа и марганца, присутствует в составе первичных и вторичных минералов, в органически связанных формах, часть из которых может быть представлена легкорастворимыми хелатами, а также в ионной форме. В почвенном растворе возможны ионные формы этого элемента: Ni²⁺, NiOH⁺, HNiO₂⁻ и Ni(OH)₂⁻. Концентрация никеля в почвенном растворе в основном равна 0,005-0,05 мг/кг [3,14].

Н.И. Горбунов [2] выделяет три группы соединений элементов в почве: 1) мобильные – непосредственный источник и резерв для питания растений (водорастворимые, ионно-обменные, непрочнофиксированные формы соединений); 2) фиксированные – потенциальный резерв для питания растений (хемосорбированные ионы, труднорастворимые соли, входящие в состав комплексных соединений стабильных органических веществ); 3) изоморфные примеси в минералах – стратегический резерв питания растений.

Никель относится к группе элементов подвижных и слабо-подвижных в окислительных условиях и инертных – в восстановительных. Этот элемент более подвижен в кислой и слабокислой среде и менее подвижен в нейтральной и щелочной. На щелочном барьере он осаждается, и миграция осуществляется исключительно в составе взвесей.

В настоящее время никель считается приоритетным поллютантом, поступающим в окружающую среду с выбросами металлообрабатывающих предприятий и в связи с растущими темпами сжигания угля и нефти. Применение осадка сточных вод и фосфорных удобрений также в какой-то степени может стать причиной его накопления в почвах [11].

При загрязнении почвы никелем она проявляет свою буферную способность, переводя водорастворимые его соединения в труднорастворимые, а труднорастворимые – в мобильные, т. е. прослеживается конвергенция поступающих соединений элемента, их превращение в соединения, свойственные самой почве конкретного состава. Однако буферная способность почвы не беспредельна и с ростом экзогенных концентраций никеля потенциально увеличивается количество тех форм, в которых он попадает в почву [10].

Токсическое действие повышенных концентраций никеля проявляется в широком диапазоне реакций растений. Наблюдается хлороз листьев, торможение скорости роста, снижение репродуктивной способности, морфобиологические нарушения. В то же время никель относится к необходимым для растений микроэлементам, играющим важную роль в ферментативных процессах. Его дефицит в почве вызывает специфические заболевания растений, снижает урожай, ухудшает его качество. Токсичность никеля не противоречит его биологической необходимости. Даже самый токсичный элемент имеет свое узкое «концентрационное окно», внутри которого он становится необходимым [13]. Как правильно подметил Д.И. Менделеев, «в мире нет вредных веществ, в мире есть вредные количества». В связи с этим необходимы данные о содержании никеля в почве и трансформации его соединений, выносе с урожаем в зависимости от обеспеченности растений, пороговых уровнях токсичности.

Валовое содержание никеля до освоения 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота (1981 г.) в черноземе выщелоченном составляло 28,8 мг/кг в пахотном и 31,4 мг/кг – подпахотном слое (таблица 71). Буферной вытяжкой извлекалось 1,8 и 1,7 мг/кг, а кислотной – соответственно 9,5 и 9,8 мг/кг, или 33,0 и 31,2 % от всего его количества.

Наибольшая часть валового никеля в почве была представлена кислотонерастворимой формой соединений элемента. Доля его в никелевом фонде составляла 67,0 % в пахотном и 68,8 % – подпахотном слое почвы.

Таблица 71 – Содержание никеля и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Никель валовой	Форма соединений никеля		
			подвижная	кислоторастворимая	кислотонерастворимая
До освоения севооборота	0-20	28,8	1,8	9,5	19,3
	21-40	31,4	1,7	9,8	21,3
После трех ротаций севооборота					
Без удобрений	0-20	28,0	1,9	9,9	18,1
	21-40	30,6	1,8	10,0	20,6
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	28,7	2,1	10,3	18,4
	21-40	31,3	1,9	10,5	20,8

Таким образом, содержание никеля в черноземе выщелоченном до освоения севооборота в целом было близко к кларку почв мира (40 мг/кг) и значительно ниже ОДК (80 мг/кг), что благоприятствует получению высококачественной продукции.

После трех ротаций севооборота без применения удобрений валовое содержание никеля и кислотонерастворимой формы его соединений в почве несколько снизилось, но количество элемента, извлекаемого буферной и кислотной вытяжкой, незначительно возросло. Снижение валового содержания никеля и его резервного (кислотонерастворимого) фонда в почве можно объяснить ежегодным отчуждением элемента с урожаями культур севооборота с полей, а наметившаяся тенденция возрастания подвижного и кислоторастворимого – минерализацией гумуса [16], сопровождаемая подкислением почвы [15].

Систематическое внесение минеральных удобрений на поля севооборота несколько восполняло никелевый фонд почвы, но не обеспечивало восстановление исходного уровня. В то же время на удобряемом севообороте отмечается четко выраженная тенденция к повышению количества подвижного и кислоторастворимого никеля. Если учесть, что величина ПДК подвижного никеля равна 6 мг/кг, то эти изменения не могут иметь никаких негативных экологических последствий, а, наоборот, будут благоприятствовать использованию этого ультрамикроразнообразия растениями [17].

Выводы. Содержание никеля в черноземе выщелоченном близко к кларку в почвах мира (40 мг/кг) и значительно ниже ОДК

(80 мг/кг). Научно-обоснованная система удобрения культур севооборота не ведет к накоплению никеля в почве, но создает условия для повышения его подвижности. В перспективе никель может быть включен в систему удобрения сельскохозяйственных культур, выращиваемых на черноземе выщелоченном.

Литература

1. Гайдукова Н.Г. Мониторинг содержания тяжелых металлов в системе удобрения-почва-растения / Н.Г. Гайдукова, И.В. Шабанова, Н.Н. Нецадим, А.В. Загорулько. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 181 с.
2. Горбунов Н.И. Минералогия и физическая химия почв / Н.И. Горбунов. – М.: Наука, 1978. – 294 с.
3. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
4. Карпова Е.А. Тяжелые металлы в агроэкосистеме / Е.А. Карпова, В.Г. Минеев. – М.: Изд-во «КДУ», 2015. – 252 с.
5. Лукашев К.И. Химические элементы в почвах / К.И. Лукашев, Н.Н. Петухова. – Минск: Наука и техника, 1970. – 229 с.
6. Перельман А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.
7. Тонконоженко Е.В. Никель в почвах и растениях степной части Краснодарского края / Е.В. Тонконоженко / Тр. КубСХИ. 1974. Вып. 81(109). С. 45-50.
8. Тонконоженко Е.В. Никель в почвах и растениях предгорной и горной части Краснодарского края / Е.В. Тонконоженко / Тр. КубСХИ. 1976. Вып. 117(145). С. 59-65.
9. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение / Под ред. М.М. Овчаренко. – М.: ЦИНАО, 1997. – 290 с.
10. Черных Н.А. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами / Н.А. Черных, Н.З. Милащенко, В.Ф. Ладонин. – Пушкино: ОНТИ ПНУ РАН, 2001. – 148 с.
11. Черных Н.А. Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеоценозах / Н.А. Черных, М.М. Овчаренко. – М.: Агроконсалт, 2002. – 200 с.
12. Шакура Б.К. Никель, ванадий, хром и стронций в почвах Нахичеванской АССР / Б.К. Шакура. – Почвоведение. 1978. №4. С. 49-55.
13. Шеуджен А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГИРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
14. Шеуджен А.Х. Агробιοгеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.
15. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения удобрений на физико-химические свойства чернозема выщелоченного / А.Х. Шеуджен,

М.А. Осипов, И.А. Лебедовский, С.В. Есипенко // *Агрехимический вестник*, 2013, № 6. С. 2-3.

16. Шеуджен А.Х. Изменение содержания и качества гумуса при сельскохозяйственном использовании чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, Т.Ф. Бочко, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2014. № 2. С. 8-11.

17. Шеуджен А.Х. Агрехимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2015. – 232 с.

18. Шильцева Г.В. Тяжелые металлы и сера в почвах Валаамского архипелага / Г.В. Шильцева, Р.М. Морозова, П.Ю. Литинский. – Петрозаводск: Карел. НУ РАН, 2008. – 109 с.

7.4.2.3 Хром

Хром в незначительных количествах содержится во всех живых организмах и является необходимым для их нормального функционирования, однако повышенное количество оказывает токсичное влияние.

**О.Н. Краснокутская,
М.А. Кузьмич, Л.П. Выродова,
1990**

Кларк хрома в земной коре равен $3 \cdot 10^{-2}\%$, литосфере – $2 \cdot 10^{-2}$, почве – $2 \cdot 10^{-2}$, растениях – $5 \cdot 10^{-4}$, водах Мирового океана – $2 \cdot 10^{-9}\%$, речных водах – 1-2 мкг/л; биофильность – $8 \cdot 10^{-3}$, талассофильность – $2 \cdot 10^{-7}$, технофильность – $2 \cdot 10^8$.

Хром образует три оксида: CrO, обладающий свойствами оснований, Cr₂O₃ – амфотерный и CrO₃ – кислот. В почве этот элемент формирует комплексные ионы: Cr(OH)²⁺, CrO₄²⁻, CrO₃⁻. Высокоокисленные формы его менее стабильны, чем Cr³⁺. Гидроксид хрома [Cr(OH)₃] имеет амфотерный характер. Большая часть хрома в почвах присутствует в виде Cr³⁺, который образует оксиды с ионами железа. В кислой среде ион Cr³⁺ инертен, при pH 5,5 почти полностью выпадет в осадок. Ион Cr⁶⁺ крайне нестабилен и легко мобилизуется в кислых и щелочных почвах. Реакция среды определяет и интенсивность адсорбции хрома глинистыми минералами: с увеличением pH адсорбция Cr⁶⁺ уменьшается, Cr³⁺ – увеличивается. Органическое вещество почвы стимулирует восстановление Cr⁶⁺ до Cr³⁺.

Содержание хрома в почвообразующих породах варьирует в очень широких пределах (таблица 72; [1,3]).

Таблица 72 – Содержание хрома в магматических и осадочных горных породах, мг/кг

Магматические породы	Содержание	Осадочные породы	Содержание
Ультраосновные	1600-3400	Глины	80-120
Основные	170-200	Сланцы	60-100
Средние	15-50	Песчаники	20-40
Кислые	4-25	Известняки	5-16

Хром образует массивные и вкрапленные руды в ультраосновных горных породах, с которыми связано образование крупнейших месторождений этого элемента. В основных породах содержание хрома достигает лишь 170-200 мг/кг, еще меньше его в средних – 15-50 мг/кг и кислых породах – 4-25 мг/кг. В осадочных породах количество его варьирует от 5-16 мг/кг (известняки) до 80-120 мг/кг (глины). Промежуточное положение занимают песчаники (20-40 мг/кг) и сланцы (60-100 мг/кг).

В почвообразующих породах Краснодарского края хром распространен довольно неравномерно (таблица 73; [7]).

Таблица 73 – Валовое содержание хрома в почвообразующих породах Краснодарского края, мг/кг

Порода	Содержание	Порода	Содержание
Лессовидные глины и тяжелые суглинки	39-76	Делювий глинистый	31-100
Лессовидные средние и легкие суглинки	36-52	Делювий суглинистый	16-30
Третичные соленосные глины	59-78	Сланцы	45-174
Аллювий глинистый	45-100	Пески	18
Аллювий суглинистый	28-63	Известняки, мергели	8-59
Аллювиальные соленосные глины	25-66	Глинистые известняки	76-102

Наименьшее количество (8 мг/кг) хрома содержится в известняке, наибольшее (174 мг/кг) – в элювии глинистых сланцев. Пестрота в распределении этого элемента более выражена в почвообразующих породах предгорий и гор, чем равнинной части края. В предгорной и горной зонах богаты им элювий глинистых сланцев, глинистые известняки, третичные рудные глины, бедны – известняки, мергели, пески и легкие суглинки. Наблюдается определенная зависимость обеспеченности хромом осадочных пород от их механического состава. В среднем богаче им глинистые породы – лессовидные, аллювиальные, делювиальные.

Среднее содержание хрома в почвах мира составляет 200 мг/кг, при этом колебания в незагрязненных почвах весьма значительны – 2-1100 мг/кг. Кларк хрома в почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья составляет $1,9 \cdot 10^{-2} \%$. В поч-

вах тундры его содержание колеблется в пределах $5 \cdot 10^{-4}$ - $2,3 \cdot 10^{-2}$ %, дерново-подзолистых – $2,2 \cdot 10^{-3}$ - $2,95 \cdot 10^{-2}$, серых лесных – $2,7 \cdot 10^{-3}$ - $7,6 \cdot 10^{-2}$, черноземах – $1,6 \cdot 10^{-2}$ - $6,3 \cdot 10^{-2}$, красноземах – $1 \cdot 10^{-2}$ - $2,6 \cdot 10^{-2}$, сероземах и каштановых почвах – $1,1 \cdot 10^{-2}$ - $5,7 \cdot 10^{-2}$ % [1,9].

Обширный аналитический материал, опубликованный Е.В. Тонконоженко [7], показывает прямую зависимость содержания хрома в почвах Краснодарского края от обеспеченности им почвообразующих пород. В то же время, как свидетельствуют его данные, почвообразование приводит к некоторому выравниванию количества хрома в почвах. В среднем в большинстве почв этого элемента содержится менее 60 мг/кг, больше его только в черноземах малогумусных, выщелоченных, горно-луговых почвах и солонцах луговых.

Формы, подвижность и миграция хрома в почве определяются:

1) содержанием и характером его соединений в почвообразующих породах; 2) составом и условиями формирования почвы, содержанием в ней глинистых минералов, свободных полутораоксидов железа и алюминия, реакцией среды, водным и окислительно-восстановительным режимом; 3) равновесием между органическими и минеральными соединениями элемента в системе «почва-растение».

Распределение хрома по почвенному профилю зависит от почвообразовательного процесса. Исследованиями И.Н. Любимовой [4] показано, что оно практически не зависит от содержания гумуса, а в большей степени обуславливается механическим составом, в частности, накопление элемента связано с наличием илистой фракции. В почвах дерново-подзолистой зоны в результате процесса оподзоливания происходит обеднение верхней части профиля тонкодисперсными частицами и соединениями полуторных оксидов, которые выносятся и концентрируются в иллювиальных горизонтах. Вместе с ними мигрирует и хром, поэтому содержание и распределение его в этих почвах идет параллельно изменению в них количества алюминия, железа и илистой фракции. Относительное содержание хрома в илистой фракции этих типов почв ниже всего в горизонте A_2 , наибольшее – в горизонтах **B** и **C**. Распределение хрома по профилю каштановой и солонцевой почв равномерное. В лугово-глеевых и дерново-глеевых почвах, образовавшихся под травянистой растительностью, отмечается обогащение гумусовых горизонтов и закономерное уменьшение содержания хрома с глубиной. Такой характер распределения элемента в этих почвах объясняется

его биогенной аккумуляцией [6]. Для бурых лесных и бурых псевдо-подзолистых почв, образовавшихся под древесной растительностью, характерно уменьшение содержания хрома в верхних гумусовых горизонтах по сравнению с почвообразующей породой.

По профилям черноземов хром распределен довольно равномерно. Преобладающего накопления его в гумусово-аккумулятивном горизонте не наблюдается. Проиллюстрируем это на разрезе чернозема выщелоченного, сделанного Е.В. Тонконоженко (таблица 74; [7]).

Таблица 74 – Распределение хрома по профилю чернозема выщелоченного

Горизонт	Глубина взятия образца, см	pH водная	Хром валовой, мг/кг
А	0-10	7,6	59
	10-20	6,8	68
	20-30	6,9	68
B ₁	60-70	6,9	87
B ₂	90-100	6,9	74
С	160-170	7,0	68

В иллювиальном горизонте почвы хрома содержалось больше, чем в гумусово-аккумулятивном и почвообразующей породе. По-видимому, есть некоторое выщелачивание элемента из верхних слоев профиля почвы в результате периодически промывного водного режима. Более высокое содержание в иллювиальном горизонте илистых частиц, полуторных оксидов алюминия и железа сопровождается аккумуляцией в нем хрома. Это подтверждает известный параллелизм в содержании железа и хрома в почвах.

Содержание хрома в поверхностном слое почвы возрастает в результате естественных (природных) и искусственных (антропогенных) процессов. К естественным относят извержение вулканов, пыльные бури, лесные и степные пожары, морские соли, поднятые ветром, растительность. Поступление элемента этим путем мало влияет на валовое его содержание. Главным и наиболее существенным источником поступления хрома в почву являются промышленные отходы (гальванические осадки, отходы кожевенных заводов и производств, где хром используется в составе пигментов красителей) и осадки сточных вод. Он также поступает с пестицидами, химическими мелиорантами, органическими и в меньшей степени минеральными удобрениями, главным образом фосфорными. Отече-

ственное фосфатное сырье является самым «обедненным» в отношении содержания хрома по сравнению с мировыми аналогами [8].

В почвах хром представлен следующими формами его соединений: 1) неподвижный; 2) прочносвязанный в составе первичных и частично вторичных глинистых минералов, с полуторными гидроксидами алюминия и железа; 3) обменносвязанный на поверхности полуторных оксидов и глинистых минералов; 4) связанный с органическим веществом почв; 5) водорастворимые соединения [9,10].

Легкорастворимые и обменные формы хрома, появляющиеся спонтанно в результате биологических процессов, воздействия корневой системы, микроорганизмов, наличия в почвенном растворе органических кислот и уголекислоты, – эфемерны. Сорбированные, вначале непрочно, ионы хрома образуют химические труднорастворимые соединения (хемосорбированное состояние) и со временем окклюдированы гидроксидами алюминия и железа, прочно фиксируются гумусом [5].

Хром относится к группе элементов среднего захвата и слабого накопления. Коэффициент биологического поглощения хрома равен единице [10]. Имеются данные о положительном влиянии этого элемента на физико-биохимические процессы [2] и продуктивность растений [12].

Валовое содержание хрома в черноземе выщелоченном значительно ниже его кларка в земной коре, литосфере и почвах мира (таблица 75). В пахотном слое содержание этого элемента в 1981 г., т.е. до закладки опыта, составляло 70,5 мг/кг, подпахотном – 78,0 мг/кг. При этом в буферную вытяжку по обоим слоям переходило 0,01 мг/кг хрома, кислоторастворимую – 5,0 мг/кг. Кислотонерастворимого хрома в почве содержалось – 65,5 мг/кг в пахотном и 73,0 мг/кг – подпахотном слое.

После трех ротаций севооборота без применения удобрений содержание хрома в почве незначительно уменьшилось: в пахотном слое на 0,6 %, подпахотном – на 0,3 %. При этом количество подвижного хрома в почве осталось на прежнем уровне, а содержание кислоторастворимых и кислотонерастворимых соединений элемента несколько уменьшилось.

Систематическое внесение минеральных удобрений на поля севооборота способствовало очень незначительному увеличению валового содержания хрома и всех форм его соединений в почве. Наблю-

даемая слабая тенденция накопления хрома в почве объясняется его поступлением в виде примесей с вносимыми на поля севооборота минеральными удобрениями и слабой биологической аккумуляцией.

Таблица 75 – Содержание хрома и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Хром валовой	Форма соединений хрома		
			подвижная	кислоторастворимая	кислотнонерастворимая
До освоения севооборота	0-20	70,5	0,01	5,0	65,5
	21-40	78,0	0,01	5,0	73,0
После трех ротаций севооборота					
Без удобрений	0-20	70,1	0,01	4,8	65,3
	21-40	77,8	0,01	4,9	72,9
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	70,7	0,02	5,2	65,5
	21-40	78,3	0,02	5,1	73,2

Академик В.Г. Минеев [5] в своем выступлении на научно-практической конференции «Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах» (М., 21-24 декабря 1992 г.) сказал: «Что же касается тяжелых металлов, то в химическом составе минеральных удобрений их нет. Они являются примесью, сопутствующими элементами, попадающими с сырьем или вследствие несовершенства технологических приемов их производства... В связи с высоким качеством российских агрохимических руд, минеральные удобрения отличаются низким содержанием тяжелых металлов. Поэтому с учетом доз применения, они с точки зрения загрязнения тяжелыми металлами, не представляют опасности».

Проведенные исследования подтверждают, что принятая научно-обоснованная система удобрений севооборота не ведет к антропогенному загрязнению почвы хромом. Содержание его в черноземе выщелоченном значительно ниже предельно допустимой концентрации (100 мг/кг) в почве [11].

Выводы. Валовое содержание хрома (70,1-78,3 мг/кг) в черноземе выщелоченном значительно ниже кларка почв мира (100 мг/кг). Доля подвижной, кислоторастворимой и кислотонерастворимой форм соединений элемента составляет соответственно 0,01; 7,09 и 92,9 % валового его содержания. После трех ротаций

11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота без внесения минеральных удобрений содержание хрома в черноземе выщелоченном не претерпело существенных изменений, даже в какой-то степени наметилась тенденция его уменьшения. Это свидетельствует об отсутствии серьезных природных источников поступления хрома в почву. Научно-обоснованная система удобрения сельскохозяйственных культур не ведет к антропогенному загрязнению чернозема выщелоченного хромом. Вынос этого элемента с урожаями сельскохозяйственных культур севооборота компенсируется его поступлением в виде балласта с минеральными удобрениями.

Литература

1. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
2. Добролюбский О.К. Влияние хрома, молибдена и вольфрама на содержание пигментов, фотосинтез и продуктивность виноградного растения / О.К. Добролюбский, В.Г. Страхов // Агрохимия. 1983. №3. С. 96-102.
3. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
4. Любимова И.Н. Содержание и формы соединений молибдена, ванадия и хрома в почвах / И.Н. Любимова / Содержание и формы соединений микроэлементов в почвах. – М.: МГУ, 1979. С. 224-293.
5. Минеев В.Г. Проблема тяжелых металлов в современном земледелии / Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах / В.Г. Минеев. – М., 1994. С. 5-11.
6. Приходько Н.Н. Ванадий, хром, никель и свинец в почвах Притиссенской низменности и предгорий Закарпатья / Н.Н. Приходько // Агрохимия. 1977. №4. С. 95-100.
7. Тонконоженко Е.В. Хром в почвах и растениях Краснодарского края / Е.В. Тонконоженко / Тр. КубСХИ. 1974. Вып. 81(109). С. 51-58.
8. Черных Н.А. Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеоценозах / Н.А. Черных, М.М. Овчаренко. – М.: Агроконсалт, 2002. – 200 с.
9. Шеуджен А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГИРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
10. Шеуджен А.Х. Агрохимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.
11. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
12. Dastur R.H. Исследования влияния микроэлементов на рост и урожай американского хлопчатника / R.H. Dastur, K. Singh // Сельское хозяйство за рубежом. 1955. №4. С. 54-62.

7.4.2.4 Кадмий

Кадмий менее ядовит для растений, чем метилртуть и медь, и сопоставим по токсичности со свинцом, никелем и хромом.

Дж.В. Мур, С. Рамамурти, 1987

Сегодня большинство ученых не относят кадмий к биомикроэлементам. Но не повторит ли этот элемент историю других элементов, долгое время считавшихся токсическими, а ныне отнесенных к категории необходимых?

К. Шварц, 1977

Кларк кадмия в земной коре равен $5 \cdot 10^{-4} \%$, литосфере – $5 \cdot 10^{-5}$, почве – $5 \cdot 10^{-5}$, растениях – $1 \cdot 10^{-6}$, водах Мирового океана – $1 \cdot 10^{-8} \%$; технофильность – $1 \cdot 10^9$, биофильность – $1,5 \cdot 10^{-2}$, талассофильность – $7,6 \cdot 10^{-4}$.

Присутствие кадмия в окружающей среде определяется двумя его физико-химическими свойствами: 1) сравнительно высоким давлением паров, определяющих легкость его испарения, например, при плавлении или сгорании углей; 2) высокой растворимостью в воде, особенно при слабокислой реакции среды. Широкое распространение кадмия в топливах, удобрениях, агрорудах и его физико-химические свойства способствуют постоянному увеличению содержания этого элемента в окружающей среде [4].

Кадмий характеризуется довольно однородным распространением в почвообразующих породах (таблица 76; [6,7]). В магматических породах содержание кадмия варьирует от 0,03 до 0,25 мг/кг, а в осадочных – от 0,03 до 0,35 мг/кг.

Таблица 76 – Содержание кадмия в почвообразующих породах, мг/кг

Магматические породы	Содержание кадмия	Осадочные породы	Содержание кадмия
Ультраосновные	0,03-0,05	Глины	0,25-0,35
Основные	0,13-0,25	Сланцы	0,22-0,30
Средние	0,10-0,15	Песчаники	0,025-0,055
Кислые	0,056-0,20	Известняки	0,030-0,040

Валовое содержание кадмия в почвах обусловлено его количеством в почвообразующих породах, генезисом, петрохимией, фациальными различиями материнского субстрата и процессами почвообразования. Помимо этих факторов оно также связано с содержанием в почве органического вещества, ее гранулометрическим составом и реакцией среды, биологическим круговоротом и процессами миграции элемента в почвенно-грунтовой слое с участием природных вод и с неоднородностью видового состава растительного покрова. Пестрота содержания кадмия в почвах обусловлена и его дифференциацией по минералам-носителям. Биологический круговорот кадмия в системе «почва–растение» обеспечивает поступление его в верхние горизонты. Различные миграционные процессы, водная эрозия и дефляция почв могут нивелировать процессы биологической аккумуляции элемента, поэтому гумусовые горизонты иногда содержат меньше его, чем иллювиальные или материнские породы [1-3].

Высокое содержание кадмия в почве может быть результатом геохимических аномалий, т.е. естественной диффузии из близко залегающих рудных жил, эксплуатации минеральных ресурсов и загрязнения среды осадками сточных вод, отходами добывающей промышленности, пылевыми и дымовыми выбросами металлургических предприятий. Источниками поступления этого элемента в почву также являются органические и минеральные удобрения.

Основные пути попадания в почву кадмия, связанные с производством и применением минеральных удобрений, следующие [7,8]:

1. Накопление огромного количества отходов при добыче агрохимических руд. Они занимают большие территории. При размывании осадками кадмий и другие элементы попадают в реки и водоемы, а также разносятся ветром в виде пыли на большие расстояния. С атмосферными осадками и пылью, например, в почвы Европейского континента поступает ежегодно 1,9-5,4 г/га кадмия;

2. Использование несовершенных технологий и оборудования при производстве минеральных удобрений. Выбросы кадмия и других тяжелых элементов в окружающую среду нередко превышают проектные величины в 2-3 раза;

3. При современных технологиях производства минеральных удобрений значительная часть кадмия и других балластных элементов, содержащихся в агрохимических рудах, переходит в гото-

вую продукцию. Например, существует корреляция между концентрацией кадмия в фосфорных удобрениях и фосфорных рудах.

Минеральные удобрения, производимые в Российской Федерации, очень высокого качества, в связи с этим их удельный вес в общем загрязнении почв кадмием незначителен. Поэтому с учетом доз применения они с точки зрения загрязнения кадмием, не представляют опасности. Так, при дозе NPK 100-200 кг/га в год на поля поступает его лишь 0,20-0,30 г/га, что далеко не сопоставимо с выносом его фитоценозом и потерями с фильтрационными водами [11].

Среднее содержание кадмия в почвах мира колеблется от 0,07 до 1,25 мг/кг. В дерново-подзолистых почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья оно составляет 0,56 мг/кг, серых лесных – 0,65, красноземах – 1,25, черноземах – 0,90 мг/кг [5,10].

Распределение кадмия по профилю почв, как правило, достаточно равномерное, и различные колебания связаны с содержанием в почвенных горизонтах органического вещества, глинистой фракции, карбонатов, а также с палеопроцессами почвообразования, если они существенно влияют на современный состав почв и педогенез. В почвах у дорог с интенсивным движением транспорта наблюдается заметное накопление кадмия в верхнем горизонте. Такая аккумуляция элемента происходит и в районах с геохимически повышенным содержанием его в ареалах рассеяния месторождений цинковых, свинцовых и никелевых руд [13].

Кадмий в почвах присутствует в различных формах: в почвенном растворе – в форме свободных катионов и ассоциатов (надмолекулярных соединений) с компонентами раствора; в твердой фазе – в форме обменных катионов и их заряженных комплексных соединений, адсорбированных на поверхности почвенных частиц, в виде изоморфных примесей в структурах глинистых минералов, окклюдируемых ионов в составе осадков микрокомпонентов, солей алюминия, железа и марганца, а также в форме собственных минералов, устойчивых осадков малорастворимых солей. Существование тех или иных форм кадмия в почвах определяется, прежде всего, составом и свойствами материнской породы, генезисом почв, процессами почвообразования и массообмена, реакцией среды и окислительно-восстановительными условиями. Чрезвычайно важное значение в образовании различных форм кадмия в почвах имеют антропогенные факторы. Они вызывают изме-

нения свойств почв, нарушение естественных механизмов миграции и трансформации кадмия и его соединений в почвах. Соединения кадмия, поступающие в почву из антропогенных источников, как правило, термодинамически неустойчивы в почвенных условиях и сравнительно быстро переходят в более устойчивые формы [7].

Для идентификации форм нахождения кадмия в почвах используют два метода: 1) вещественный химический анализ и 2) механическое разделение пробы. Химический анализ основан на извлечении определенных форм элемента из твердой фазы почвы с помощью селективных экстрагентов и их сочетаний. Метод механического разделения используют для изучения распределения кадмия по гранулометрическим фракциям.

Среди форм соединений кадмия выделяют 3 группы: 1) подвижные (водорастворимые, ионообменные, непрочносвязанные); 2) кислоторастворимые (хемосорбционные ионы, труднорастворимые соли, кадмий в составе комплексных соединений стабильных органических веществ); 3) кислотонерастворимые (изоморфные примеси в минералах, фиксированные и прочнофиксированные).

В Российской Федерации почвы группируют по валовому содержанию и количеству подвижных форм соединений кадмия, используя принцип арифметической прогрессии. Нулевая группа – фон, представляет собой величину кларка по А.П. Виноградову. Первая группа по загрязненности – 2 кларка, вторая – 3 кларка. Согласно этой классификации, содержание кадмия для первой группы по загрязненности составляет 2 мг/кг, второй – 8 мг/кг, третьей – 32 мг/кг [11,13].

Нормирование кадмия в условиях загрязнения обычно сводится к установлению ПДК, при которой гарантируется получение гигиенически пригодной для человека и животных растительной продукции. Предельно допустимая концентрация кадмия в почвах будет сильно варьировать в зависимости от конкретной почвенно-экологической обстановки. Согласно принятой Госкомэпиднадзором Российской Федерации, ориентировочно-допустимая концентрация (ОДК) кадмия для песчаных и супесчаных почв равна 0,5 мг/кг, кислых ($pH_{KCl} < 5,5$) суглинистых и глинистых – 1,0, близких к нейтральным ($pH_{KCl} > 5,5$) суглинистых и глинистых – 2,0 мг/кг [10].

Степень загрязнения пищевой цепи и торможения роста растений находятся в прямой, но слабой корреляционной связи с валовым содержанием кадмия в почве, т. к. он накапливается преимуще-

ственно в форме нерастворимых или слабо растворимых форм соединений и плюс к тому почва и растения сами обладают защитными механизмами. Поэтому при установлении ПДК В.В. Попов и Г.А. Соловьев [9] предлагают использовать не валовое количество кадмия, а содержание кислоторастворимых (1 н HCl вытяжка) форм соединений. По разработанной ими шкале нормирования кадмия почв со слабкокислой и кислой реакцией среды содержание элемента < 0,1 мг/кг считается низкой, 0,1-0,3 – средней, 0,3-0,5 – умеренно опасной, 0,5-2,0 – повышено опасной и > 2,0 мг/кг – не сельскохозяйственного использования. Таким образом, мониторинг кадмиевого статуса почв должен предусматривать определение не только валового содержания элемента, но и подвижных форм его соединений.

Содержание кадмия в черноземе выщелоченном больше кларка почв мира (0,5 мг/кг), но близко к среднему значению для черноземов (0,9 мг/кг). В пахотном слое до освоения 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота количество его составляло 0,75 мг/кг, подпахотном – 86 мг/кг почвы (таблица 77).

Таблица 77 – Содержание кадмия и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Кадмий валовой	Форма соединений кадмия		
			подвижная	кислоторастворимая	кислотнонерастворимая
До освоения севооборота	0-20	0,75	0,03	0,27	0,48
	21-40	0,86	0,03	0,27	0,59
После трех ротаций севооборота					
Без удобрений	0-20	0,77	0,03	0,27	0,50
	21-40	0,87	0,03	0,27	0,60
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	0,80	0,01	0,25	0,55
	21-40	0,88	0,02	0,25	0,63

Доля кислоторастворимой и кислотонерастворимой форм соединений кадмия в валовом его содержании составляла соответственно 36,0 и 64,0 % в пахотном и 31,4 и 68,6 % – подпахотном слое почвы. В буферную вытяжку переходило 11,1 % кислоторастворимой формы соединений кадмия, что составляет в пахотном слое 4,0 % и подпахотном – 3,5 % валового его содержания.

После трех ротаций севооборота в почве без удобрений валовое содержание кадмия незначительно возросло – на 2,7 % в пахотном и на 1,2 % – подпахотном слое почвы. Это является следствием техногенного его поступления на поверхность почвы в составе пыли, переносимой ветром, и с атмосферными осадками. Увеличение содержания элемента в почве произошло за счет возрастания количества кислотонерастворимых форм его соединений. Абсолютное содержание подвижной и кислоторастворимой форм соединений элемента по обоим слоям почвы осталось на прежнем уровне, а относительное – уменьшилось соответственно в пахотном слое 0,1 и 0,9 %, подпахотном – 0,1 и 0,4 %.

Наметившиеся в процессе агрогенеза тенденции накопления кадмия в почве наиболее четко проявились при систематическом внесении минеральных удобрений на полях севооборота. Под их воздействием валовое содержание элемента возросло на 0,05 мг/кг в пахотном и на 0,01 мг/кг – подпахотном слое почвы. Такое приращение содержания кадмия в почве является следствием поступления элемента на поля севооборота, кроме отмеченных для неудобренного севооборота, как примесь с минеральными удобрениями. Увеличение содержания в почве произошло за счет кислотонерастворимой формы его соединений, т. к. количество кислоторастворимой формы на удобренном севообороте уменьшилось. Аналогичная картина наблюдается и в отношении подвижного кадмия. Содержание его под воздействием удобрений снизилось существенно на 66,7 % в пахотном и на 33,3 % – подпахотном слое почвы. Такое уменьшение подвижности элемента в первую очередь обусловлено высоким содержанием подвижных форм фосфора в почве, которые связывают кадмий в труднорастворимые фосфаты и комплексы различной степени устойчивости [12].

Выводы. Содержание кадмия в черноземе выщелоченном находится в пределах 0,75-0,80 мг/кг в пахотном и 0,86-0,88 мг/кг – подпахотном слое, что близко к среднему значению для черноземов (0,90 мг/кг). Преобладающая часть валового кадмия в почве представлена кислотонерастворимыми соединениями элемента. В целом за три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота не произошло существенного накопления кадмия в черноземе выщелоченном. Выявленная в процессе агрогенеза слабовыраженная тенденция увеличения валового содержания элемента

и трансформации форм его соединений не вызывают экологической опасности. По количеству кадмия, переходящего в кислотную вытяжку (1 н HCl), чернозем выщелоченный относится к среднему фону содержания данного элемента в почвах – 0,1-0,3 мг/кг.

Литература

1. Алексеев А.А. Диффузия кадмия в почвах / А.А. Алексеев, Н.Г. Зырин // Почвоведение. 1980. № 3. С. 66-73.
2. Алексеев А.А. Цинк и кадмий / Химия тяжелых, мышьяка и молибдена в почвах / А.А. Алексеев. – М, Изд-во МГУ, 1985. С. 26-76.
3. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
4. Дабахов М.В. Тяжелые металлы: экотоксикология и проблемы нормирования / М.В. Дабахов, Е.В. Дабахова, В.И. Титова. – Нижний Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. – 165 с.
5. Ермохин Ю.И. Агроэкологическая оценка действия кадмия, никеля, цинка в системе почва-растение-животное / Ю.И. Ермохин, А.В. Синдирева, Н.К. Трубина. – Омск: ОмГАУ, 2002. -117 с.
6. Ковда В.А. Микроэлементы в почвах Советского Союза / В.А. Ковда, И.В. Якушевская, А.Н. Тюрюканов. – М.: МГУ, 1959. – 61 с.
7. Минеев В.Г. Тяжелые металлы и окружающая среда в условиях современной интенсивной химизации. Сообщение 1. Кадмий. / В.Г. Минеев, А.И. Макарова, Т.А. Тришина / Агрохимия. 1981. № 5. С. 146-155.
8. Минеев В.Г. Тяжелые металлы и окружающая среда в условиях современной интенсивной химизации / В.Г. Минеев, А.А. Алексеев, Т.А. Тришина // В.Г. Минеев. Избранное. -М.: МГУ, 2005. С. 248-268.
9. Попов В.В. Контроль загрязнения почв тяжелыми металлами / В.В. Попов, Г.А. Соловьев // Химизация сельского хозяйства. 1991. № 11. С. 80-82.
10. Черных П.А. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами / П.А. Черных, Н.З. Милащенко, В.Ф. Ладонин. – Пушкино: ОНТИ ПНУ РАМ, 2001. – 148 с.
11. Шеуджен А.Х. Агробиогeoхимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.
12. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
13. Ягодин Б.А. Кадмий в системе почва-удобрения-растения-животные организмы и человек / Б.А. Ягодин, С.Б. Виноградова, В.В. Говорина // Агрохимия. 1989. № 5. С. 118-130.

7.4.2.5 Свинец

Свинец – типичный рассеянный элемент, содержащийся во всех компонентах окружающей среды... Живые организмы на протяжении длительной эволюции адаптировались к природной концентрации этого элемента, активно его поглощают и содержат в своих тканях и органах. Свинец в определенных количествах – один из многочисленных факторов нормального развития и функционирования отдельных организмов, биоценозов и всей биосферы целом.

В.В. Добровольский, 1987

Кларк свинца в земной коре и литосфере равен $1,6 \cdot 10^{-3} \%$, почве – $1 \cdot 10^{-3}$, растениях – $12 \cdot 10^{-5}$, водах Мирового океана – $5 \cdot 10^{-7} \%$; технофильность – $2 \cdot 10^9$, биофильность – $1,3 \cdot 10^{-2}$, талассофильность – $1,9 \cdot 10^{-6}$.

Концентрация свинца в земной коре возрастает от вещества верхней мантии к гранитному слою. Накопление этого элемента в земной коре связано не только с его активным выплавлением из вещества мантии, но также с образованием радиогенных изотопов ^{206}Pb , ^{207}Pb и ^{208}Pb . Около 1/3 массы свинца, содержащегося в земной коре, возникло в результате радиоактивного распада изотопов урана ^{235}U , ^{238}U и тория ^{232}Th [3,6].

Свинец в земной коре накапливается в кислых магматических породах и глинистых осадках, в которых обычные концентрации этого элемента колеблются в пределах 10-40 мг/кг. В то же время в ультраосновных породах и известковистых осадках его содержится 0,1-10 мг/кг (таблица 78; [4]).

Таблица 78 – Содержание свинца в магматических и осадочных горных породах, мг/кг

Магматические породы	Содержание	Осадочные породы	Содержание
Ультраосновные	0,1-1,0	Глины	20-40
Основные	3,-8	Сланцы	18-25
Средние	12-15	Песчаники	5-10
Кислые	10-24	Известняки	3-10

При выветривании горных пород происходит освобождение ионов Pb^{2+} из кристаллических структур породообразующих минералов и с поверхности дефектов реальных кристаллов.

Свинец является постоянным компонентом атмосферы, гидросферы и литосферы Земли. Его миграция имеет четко выраженный циклический характер. Вне живого вещества рассеянный свинец мигрирует либо в растворимых формах, либо в связанных с твердой фазой. Главным источником свинца форм, связанных с твердой фазой, служат континенты. Перенос соединений свинца в океан осуществляется преимущественно с речным стоком и отчасти через атмосферу. Природными источниками этого элемента в атмосфере являются горные породы, почва, вулканические газы и аэрозоли, дымы лесных пожаров и морские аэрозоли; антропогенными – металлургические заводы и предприятия, производящие красители, химикаты, пестициды, батареи, аккумуляторы; сжигание угля, торфа, масел, городских отходов; производство и применение боеприпасов; распашка земель.

Характерной особенностью свинца является тенденция к образованию им соединений слабой растворимости с главными компонентами – анионами природных вод и почвенного раствора. Гидроксиды, карбонаты и сульфиды свинца могут выступать в качестве ограничителей растворимости и миграции элемента. В широком диапазоне природных условий (Eh-pH) свинец присутствует преимущественно в двухвалентной форме [3].

Растворимость соединений свинца в диапазоне pH 8,5-11,0 и в восстановительных условиях при pH 2 – низкая, – менее чем 1 мкг/л; в интервале pH 6-8 растворимость элемента является сложной функцией pH, концентрации CO_2 и соединений серы в воде. Восстановительные условия ведут к образованию осадка сульфида свинца, который характеризуется очень низкой растворимостью.

Наличие значительного количества фосфат-ионов в природных растворах снижает концентрацию свинца. Но, как правило, в природных водах фосфат-ионы не присутствуют в количестве, достаточном для определения судьбы растворенного свинца. Однако этот фактор может быть определяющим для содержания свинца в почвенном растворе при внесении фосфорных удобрений. При pH выше 6 из 0,1 М растворов соединений свинца осаждается его гидроксид, который неустойчив и, теряя гидратную воду, переходит в оксид (PbO) [6].

Особенности распределения и миграции свинца в природных водах обуславливаются интенсивностью осаждения и комплексобразованием с органическими и неорганическими лигандами. Геохимическая подвижность свинца зависит от физико-химических свойств формирующихся комплексов. В результате гидролиза фосфатов и сульфидов свинца при $\text{pH} > 6$ образуется $\text{Pb}(\text{OH})^+$, а при $\text{pH} > 10$ – нерастворимый $\text{Pb}(\text{OH})_2$. При $\text{pH} 8,5$ $\text{Pb}(\text{OH})^+$ является главной формой только в том случае, если содержание хлоридов находится в пределах 350-56200 мг/л. Катионы Pb^{2+} и $\text{Pb}(\text{OH})^+$ присутствуют в воде при $\text{pH} 6$ в равных концентрациях, а при $\text{pH} 8$ доминирует $\text{Pb}(\text{OH})^+$, который по сорбционным способностям заметно отличается от Pb^{2+} . Свинец формирует довольно стабильные хелаты с органическими лигандами, содержащими донорские атомы серы, азота и кислорода. Вследствие относительной слабости связей $\text{Pb}-\text{C}$ органические соединения свинца менее стабильны, нежели аналогичные соединения углерода и кремния [3].

Естественные концентрации свинца в верхних горизонтах различных почв мира колеблются в пределах 3-189 мг/кг; средние значения по типам почв составляют 10-67 мг/кг. Содержание этого элемента в почве вблизи автодорог достигает 600-700 мг/кг [4]. В почвах Русской равнины содержание свинца находится в интервале $(0,37-4,33) \cdot 10^{-3} \%$. В типичных зональных почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья нормальное (фоновое) содержание свинца следующее: тундрово-глеевые – 15-29 мг/кг, дерново-подзолистые – 6-15, серые лесные – 10-25, черноземы – 13-28, каштановые – 18-26, красноземы – 20-38 мг/кг. Фоновая концентрация этого элемента в почвах Европейской части нашей страны изменяется в диапазоне 15-47 мг/кг [5].

Содержание свинца в почвах определяется, прежде всего, региональными факторами: составом почвообразующих пород, рельефом местности, климатом, растительным покровом. В последнее время к перечисленным факторам прибавился антропогенный источник поступления элемента. Чтобы оценить его влияние, необходимо знание естественных, т. е. фоновых уровней содержания свинца, так называемых точек отсчета, по которым впоследствии можно будет следить за изменениями, происходящими в почвах. Под фоновым подразумевается содержание элемента в почвах на большом удалении от районов поступления загрязнений. Фоновое

содержание свинца в каждом типе почв зависит главным образом от состава почвообразующих пород. Коэффициент корреляции между количеством свинца в почвообразующих породах и почвах при фоновом содержании равен $0,86 \pm 0,17$ при $r=0,95$. Для каждого типа почв характерны незначительные колебания в содержании свинца, обусловленные составом почвообразующих пород.

Концентрация свинца в почвах увеличивается за счет его поступления из атмосферы, с оросительной водой, при дренаже горнорудных разработок, в результате использования в сельском хозяйстве свинецсодержащих химикатов [6].

Уровень содержания свинца в почвах, при котором он становится токсичным для растений, сильно варьирует в зависимости от конкретной экологической обстановки. Согласно гигиеническим нормативам, утвержденным Государственным комитетом санитарно-эпидемиологического надзора Российской Федерации, ориентировочно допустимая концентрация свинца для песчаных и супесчаных почв составляет 32 мг/кг, кислых ($pH_{КС1} < 5,5$) суглинистых и глинистых – 65 мг/кг и близких к нейтральной ($pH_{КС1} > 5,5$) суглинистых и глинистых – 130 мг/кг, а предельно допустимая концентрация элемента, извлекаемая из почвы ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4,8, равна 6 мг/кг [1].

Почвообразовательный процесс вносит существенные коррективы в распределение свинца по профилю почвы. Перераспределение этого элемента в профиле почв происходит под воздействием различных химических процессов: осаждения-растворения, адсорбции глинистыми минералами и полуторными оксидами, взаимодействия с органическим веществом. Хотя формы нахождения свинца в разных типах почв могут существенно различаться, все же можно заключить, что он ассоциируется главным образом с глинистыми минералами, оксидами железа и алюминия, органическим веществом. В некоторых почвах свинец может концентрироваться в частицах карбоната кальция или в фосфатных конкрециях [3].

Свинец легко сорбируется глинистыми минералами, сорбция может быть обменной и специфической. Энергия поглощения этого элемента выше, чем других физиологически важных микроэлементов и кальция, благодаря чему он защищен от выщелачивания и остается в почве в поглощенной, но относительно доступной растениям форме. Обогащение свинцом некоторых горизонтов почв связано с накоплением глинистых минералов.

Свинец может соосаждаться с карбонатами и гидроксидами металлов. Кроме того, он может быть представлен индивидуальными труднорастворимыми соединениями, например гидроксилпироморфитом, а в присутствии хлорид-иона – хлорпироморфитом.

Фиксация и уровень сорбции свинца глинистыми минералами зависят от pH. Например, при увеличении pH с 4,7 до 5,9 сорбция свинца гетитом возростала от 8 до 63 %. Свинец удерживается иллитом, монтмориллонитом, каолинитом, вермикулитом и гидробиотитом более прочно, чем другие элементы [4].

Органическое вещество является важным компонентом, ответственным за перераспределение свинца в почве. Механизмы соединения свинца с органическим веществом могут быть различными: образование труднорастворимых соединений типа солей с гумусовыми кислотами, адсорбция на поверхности молекул гумусовых кислот за счет электростатических сил или с образованием химических связей (хемосорбция), образование комплексных соединений с органическим веществом. Как и другие поливалентные элементы, свинец обладает значительной способностью к образованию внутрикомплексных соединений (хелатов). Хелатирующими агентами могут быть неспецифические и специфические гумусовые вещества.

Свинец образует стабильные комплексы с гуминовыми кислотами (ГК) и фульвокислотами (ФК). Количество элемента, комплексируемое единицей ФК, относительно высокое по сравнению с другими. Комплексы Pb-ГК более устойчивы, чем комплексы ГК с цинком и кадмием. Адсорбция свинца гумусом, способность к комплексообразованию и устойчивость образующихся соединений увеличиваются с повышением pH. В кислой среде свинец, как кадмий и цинк, более подвижен.

Растворимость свинца может быть сильно понижена известкованием. При высоких значениях pH он будет осаждаться в почве в виде гидроксида, фосфата, карбоната; эти же условия способствуют образованию свинецорганических комплексов [7].

Уровень концентрации свинца в почвенных растворах некарбонатных почв регулируется растворимостью таких соединений, как $Pb(OH)_2$, $Pb_3(PO_4)_2$, $Pb_4O(PO_4)_2$ и $Pb_5(PO_4)_3OH$, а в карбонатных почвах – еще и $PbCO_3$. При взаимодействии свинца с почвами устойчивые соединения в твердой фазе образуются не сразу и не обязательно путем прямой реакции. Осаждение, например, труднорастворимых соединений происходит ступенчато: от менее к более

стабильным соединениям. На растворимость соединений свинца в почвах влияют также процессы гидролиза и комплексообразования с хлоридами. При концентрации хлоридов порядка 350-6000 мг/кг свинец, как и цинк, находится в растворе преимущественно в виде гидроксокомплексов; ртуть и кадмий в этих условиях комплексируются, главным образом, с хлоридами.

Содержащиеся в почвах формы соединений свинца подразделены на четыре группы: 1) водорастворимые; 2) обменные и непрочносвязанные; 3) кислоторастворимые; 4) прочнофиксированные. Для идентификации форм нахождения свинца в почвах используют различные вытяжки. Подвижные формы соединений элемента извлекают ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4,8; обменные – 1 н $\text{CH}_3\text{COONH}_4$; кислоторастворимые – 1 н HCl [8].

Чернозем выщелоченный до освоения 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота содержал 26,6 мг/кг свинца в пахотном и 25,6 мг/кг – подпахотном слое (таблица 79). При этом в буферную вытяжку переходило соответственно 3,0 и 2,7 мг/кг элемента, а в 1 н солянокислую вытяжку – 11,4 и 9,9 мг/кг, или 43,0 и 39,0 % от всего количества. Большая часть валового свинца приходилось на долю кислотонерастворимых соединений этого элемента – 57,1 % в пахотном и 42,9 % – подпахотном слое почвы.

Таблица 79 – Содержание свинца и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Свинец валовой	Форма соединений свинца		
			подвижная	кислоторастворимая	кислотнонерастворимая
До освоения севооборота	0-20	26,6	3,0	11,4	15,2
	21-40	25,6	2,7	9,9	15,7
После трех ротаций севооборота					
Без удобрений	0-20	26,7	2,8	12,0	14,7
	21-40	25,9	2,6	10,7	15,2
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	26,8	2,3	12,2	14,6
	21-40	26,1	2,1	11,0	15,1

После трех ротаций севооборота без удобрений валовое содержание свинца в почве сохранилось на исходном уровне. Длительное антропогенное воздействие на почву в данном случае проявилось лишь в трансформации форм его соединений. Содержание подвижных и кислотонерастворимой формы соединений элемента

в почве уменьшилось соответственно на 6,7 и 3,3 % в пахотном и на 3,7 и 3,2 % в подпахотном слое. Наибольшие количественные изменения претерпела кислоторастворимая форма соединений свинца. Ее содержание за три ротации севооборота возросло на 5,36 % в пахотном и на 8,1 % в подпахотном слое почвы по сравнению с исходным количеством. Наметившаяся тенденция изменения содержания форм соединений свинца в процессе выращивания сельскохозяйственных культур без внесения удобрений объясняется дефицитом поступления корневых и пожнивных остатков, усилением минерализации гумуса, подкислением почвы, а также выносом высокодисперсных почвенных частиц из пахотного слоя.

Научно-обоснованная система удобрений культур севооборота не привела к заметному увеличению количества свинца в почве. Под воздействием удобрений валовое содержание элемента в почве возросло за три ротации 11-польного севооборота всего лишь на 0,8 % в пахотном и на 2,0 % – подпахотном слое. В то же время систематическое применение минеральных удобрений в течение 33 лет привело к определенным качественным изменениям фонда свинца в почве. В большей степени оно затронуло подвижную, в меньшей – кислоторастворимую и кислотонерастворимую формы соединений элемента. Так, содержание подвижного свинца в почве уменьшилось на 23,3 % в пахотном и на 22,3 % – в подпахотном слое, тогда как количество кислоторастворимой формы в пахотном и подпахотном слое возросло только на 5,3 и 11,1 % соответственно. Еще в меньшей степени изменения коснулись кислотонерастворимой формы соединений свинца. Содержание его в пахотном слое почвы уменьшилось всего лишь на 3,9 %, подпахотном – на 3,8 %.

Уменьшение подвижности свинца обусловлено повышением фосфатного статуса почвы, как следствие длительного применения фосфорных удобрений на полях севооборота [9]. Как известно, подвижные формы фосфора легко связывают свинец почвенного раствора и обменно-сорбированный глинистыми минералами в трудно-растворимые соединения [2]. В целом выявленные в процессе агрогенеза количественные и качественные изменения содержания свинца в черноземе выщелоченном не настолько весомы, чтобы оказать существенное негативное влияние на его экологическое состояние [10,11].

Выводы. Содержание свинца в черноземе выщелоченном превышает кларк почв мира, но близок к среднему значению, установленному для почв Европейской части Российской Федерации – 15-

47 мг/кг. В пахотном и подпахотном слое почвы на долю кислоторастворимой формы соединений элемента приходится 42,8 и 38,7 %, кислотонерастворимой соответственно – 57,2 и 61,3 % валового его количества. Подвижного свинца в пахотном слое почвы содержится 2,7 мг/кг или 11,3 % от всего количества. Длительное систематическое применение минеральных удобрений на полях севооборота не привело к существенному накоплению свинца в почве. Сравнивая полученные результаты с существующими в настоящее время допустимыми концентрациями (ОДК, ПДК), можно отметить, что содержание свинца в черноземе выщелоченном после трех ротаций севооборота не может вызвать каких-либо нежелательных изменений или аномалий в ходе биологических процессов и привести к накоплению в сельскохозяйственных растениях, а, следовательно, не может нарушить биологический оптимум.

Литература

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
2. Дабахов М.В. Тяжелые металлы: экотоксикология и проблемы нормирования / М.В. Дабахов, Е.В. Дабахова, В.И. Титова. – Нижний Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. – 165 с.
3. Зырин Н.Г. Свинец / Н.Г. Зырин, Е.В. Каплунов, А.В. Сердюкова, В.Д. Симонов / Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах. – М.: МГУ, 1985. С. 104-127.
4. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
5. Минеев В.Г. Проблема тяжелых металлов в современном земледелии / Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах / В.Г. Минеев. – М., 1994. С. 5-11.
6. Свинец в окружающей среде / Под ред. В.В. Добровольского. – М.: Наука, 1987. – 182 с.
7. Шеуджен А.Х. Агробиогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.
8. Шеуджен А.Х. Агрохимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.
9. Шеуджен А.Х. Фосфорный режим чернозема выщелоченного Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, Т.Ф. Бочко, Т.Н. Бондарева // Тр. КубГАУ. 2014. № 2(47). С. 98-108.
10. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
11. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений свинца в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, В.П. Суетов, И.А. Лебедовский, М.А. Осипов, В.О. Безсонов // Научный журнал КубГАУ. 2017. № 130 (06); <http://ej.kubagro.ru/2017/06/pdf/59.pdf>.

8 МИКРОФЛОРА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

8.1. Микрофлора

Микроорганизмам принадлежит ведущая роль в разложении остатков биоценоза, синтезе и деструкции гумуса, формировании фитосанитарного состояния почвы и накоплении в ней биологически активных веществ, фиксации молекулярного азота атмосферы. Уровень плодородия почвы в значительной мере обуславливается интенсивностью и направленностью названных процессов [5]. «Эволюция, – пишет Г.С. Муромцев [14], – закрепила за микроорганизмами важнейшие звенья круговорота веществ в биосфере – переработку и минерализацию громадной массы органического вещества, непрерывно поступающего в почву и водоемы, возвращение в почву вынесенных из неё растениями зольных элементов, а также синтез азотистых соединений из газообразного азота атмосферы».

Микрофлора почвы представлена бактериями, актиномицетами, грибами, водорослями, вирусами и бактериофагами. Бактерии участвуют в трансформации органического вещества почв. Они способны разлагать почти все органические соединения. Эти микроорганизмы с помощью своих экзоферментов как источник пищи и энергии используют белок, сахара, крахмал, спирты, альдегиды, разлагают клетчатку и имеют преимущество в разложении углеводов. Актиномицеты участвуют в разложении органического вещества почвы. Они способны использовать углеводы, в том числе активно разрушают маннаны, пектиновые вещества, целлюлозу, кератин, хитин, могут разрывать длинные цепи жирных кислот и углеводов. Актиномицеты рода *Nocardia* с помощью фермента феноксидазы разлагают гумус с утилизацией азота гетероциклов. Особенно большую роль актиномицеты играют в трансформации органического вещества черноземов. Грибы обладают широким спектром ферментов, способны совершать многие процессы трансформации органического вещества, но, как правило, с меньшей скоростью, чем бактерии. В то же время разложение ароматических соединений грибы ведут активнее, чем бактерии; расщепление лигнина и танинов в природе идет преимущественно под их воздействием. Грибы осуществляют и минерализацию гумуса. Функции

грибов определяются стадией сукцессии, периодом изменения видового состава микробиоценоза, зависящей от способности организмов, его составляющих, к переработке и использованию компонентов субстрата. Грибы-сахаролитики выступают пионерами в процессе распада органического вещества почвы. За ними следуют грибы, разрушающие флоэму растений, так называемые первичные сапрофиты. Вторичные сапрофиты разрушают эпидермис клеток. Медленнее всего происходит разрушение целлюлозы и лигнина. Почвообитающие водоросли – автотрофы, участвующие в создании органического вещества почвы. Запасы органического вещества, созданного водорослями, составляют 0,05-0,2 % от его валового содержания в пахотном слое почвы. Вирусы – ультрамикроскопические облигатные внутриклеточные формы, способные размножаться только в клетках живых одноклеточных и многоклеточных организмов. Вирусы, вызывающие гибель бактерий, т.е. так называемые бактериофаги, широко распространены в почвах и способны вызывать лизис, т.е. гибель различных физиологических групп микроорганизмов. Результатом накопления активных фагов является почвоутомление – клеверное, люцерновое [4].

Численность микроорганизмов и состав микробных сообществ зависят от гидротермических условий, ботанического состава фитоценоза, типа почвы. Так, в подзолистых и дерново-подзолистых почвах заселенность микроорганизмами составляет около 1 млн. клеток микроорганизмов, черноземах и каштановых – 3,4-3,6; бурых и сероземных – 4,5 млн. клеток в 1 г почвы [4]. Существенное влияние на микрофлору почвы оказывают макро- и микроудобрения. В удобренных почвах возрастает общая численность микроорганизмов, а подчас наблюдается и смена доминантных видов, входящих в те или иные физиологические группы. На микрофлору почвы особенно сильно действуют азотные удобрения, несколько меньше фосфорные, еще слабее калийные и микроудобрения [1,13,24].

В данной работе приведены результаты изучения влияния минеральных удобрений на микрофлору и биологическую активность чернозема выщелоченного Западного Предкавказья за три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота.

Чернозем выщелоченный характеризуется высокой биогенностью. Максимальная численность микроорганизмов отмечена в пахотном 0-20 см слое – 271×10^6 клеток в 1 г почвы. В подпахот-

ном 21-40 см слое – их количество заметно снижается – $188,9 \times 10^6$ клеток в 1 г почвы. Микрофлора почвы в основном представлена бактериями, в убывающем порядке встречались актиномицеты и грибы (таблица 80).

Таблица 80 – Изменение численности микроорганизмов в почве при длительном применении минеральных удобрений

Вариант	Слой почвы, см	Бактерии	Актиномицеты	Грибы
		×10 ⁶ клеток в 1 г почвы		
Без удобрений	0-20	172,5	92,6	5,9
	21-40	98,7	68,1	2,1
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	191,3	90,5	9,6
	21-40	112,4	66,3	3,2

По данным О.В. Енкиной и Н.Ф. Коробского [5] бактерии на черноземе выщелоченном представлены в основном неспоровыми формами, среди которых преобладают представители рода *Pseudomonas*. Численность спорообразующих бактерий на 1-2 порядка ниже. Доминирующими видами среди бацилл являются *Bac. megaterium* и *Bac. mesentericus*. Значительно реже здесь встречаются *Bac. idosus* и *Bac. mycoides*. Среди актиномицетов в черноземе выщелоченном наиболее широко распространены *Act. albidus*, *Act. griseus* и *Act. violaceus*. В составе микрофлоры доминируют представители родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, много аспорогенных форм *Alternaria*, реже встречается *Cladosporium*. Под воздействием вносимых в почву минеральных удобрений увеличивается численность видов *Penicillium* и *Fusarium*.

Доля бактерий, актиномицетов и грибов в общем микробоценозе пахотного слоя чернозема выщелоченного составляло соответственно 63,6; 34,2 и 2,2 %, подпахотного – 52,3; 46,6 и 1,1 %. Такая дифференциация биогенности почвы, связанной с углублением объясняется как с изменением содержания гумуса, так и с большим поступлением в верхний ее слой остатков агроценоза. Более равномерное распределение актиномицетов в пахотном и подпахотном слоях почвы говорит о наличии у них развитой ферментативной системы, позволяющей использовать трудногидролизуемые органические соединения азота.

Научно-обоснованная система удобрения сельскохозяйственных культур, применяемая в зерно-травяно-пропашном севообороте в определенной степени отразилась на численности и видовом составе микрофлоры чернозема выщелоченного. Систематическое внесение минеральных удобрений в течение трех ротаций севооборота привело к возрастанию численности бактерий в пахотном слое почвы на 10,9 %, подпахотном – 13,9 %. Здесь сказывается прежде всего влияние азотного компонента системы удобрения культур севооборота. Под воздействием удобрений заметно увеличилась и заселенность почвы грибами: в пахотном слое почвы она выросла на 62,7 %, подпахотном – 52,4 %. В то же время удобрения оказывали депрессивное действие на актиномицеты. Их численность в пахотном и подпахотном слоях почвы снизилась на 2,3 и 2,6 % соответственно. Уменьшение количества актиномицетов обусловлено некоторым подкислением почвы вносимыми под культуры физиологически кислыми минеральными удобрениями [20].

При определении биогенности почвы важно знать не только общую, но и численность различных физиологических групп микроорганизмов, которыми она представлена. Одним из многочисленных групп микрофлоры почв являются микроорганизмы, осуществляющие трансформацию азота органического вещества.

Среди микроорганизмов, участвующих в превращениях азота в почве наиболее распространены аммонифицирующие бактерии, численность которых в пахотном слое составляет 87,2 %, подпахотном – 92,2 % от всей этой физиологической группы (таблица 81).

Таблица 81– Численность физиологических групп микроорганизмов, осуществляющих трансформацию азота почвы

Вариант	Слой почвы, см	Аммонифицирующие	Нитрифицирующие	Денитрифицирующие
		×10 ⁴ клеток в 1 г почвы		
Без удобрений	0-20	226,0	0,59	32,6
	21-40	200,6	0,23	16,7
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	334,3	0,72	34,8
	21-40	264,0	0,28	16,9

Аммонифицирующие микроорганизмы при помощи ферментов протеаз, выделяемых ими в почву, расщепляют сложные белковые молекулы на простые соединения – аминокислоты. Последние, проникая в клетки микроорганизмов, под действием ферментов дезаминаз подвергаются дезаминированию, при котором высвобождается аммиак. Аммиак, образующийся в почве, под воздействием нитрифицирующих микроорганизмов, окисляется в азотистую, а затем в азотную кислоту. Значительная часть нитратов почвы используется растениями и микроорганизмами, вымывается фильтрационными водами и под воздействием денитрифицирующих микроорганизмов восстанавливается до свободного азота [4].

Численность нитрифицирующих бактерии в пахотном и подпахотном слоях чернозема выщелоченного представлена, в более чем в 200 раз меньше количества аммонифицирующих микроорганизмов. Причем численность нитрифицирующих бактерий по слоям почвы резко дифференцирована: с углублением их количество резко уменьшается. Так, если в подпахотном слое численность аммонифицирующих микроорганизмов уменьшилась по сравнению с пахотным всего лишь на 11,8 %, то нитрифицирующих – на 40,0 %.

По сравнению с нитрифицирующими микроорганизмами микрофлора чернозема выщелоченного более широко представлена денитрифицирующими бактериями, но их значительно меньше, чем аммонифицирующих микроорганизмов. Заселенность этой физиологической группы в изучаемых слоях почвы идентичен характеру изменения численности нитрифицирующих бактерий: с глубиной их количество уменьшается практически в два раза.

Таким образом, по численности микроорганизмы, осуществляющие трансформацию азота органического вещества почвы, располагаются в следующем возрастающем порядке: нитрифицирующие < денитрифицирующие < аммонифицирующие.

Применяемые под сельскохозяйственные культуры минеральные удобрения, оказывают влияние на экологию почвы: изменяются физические, химические и физико-химические ее свойства, что в свою очередь отражается на общей численности и составе микрофлоры [1,13,20].

Проведенные исследования показали, что научно-обоснованная система удобрения, применяемая на полях 11-польного севооборота положительно сказалась на численности

микроорганизмов, обуславливающих превращение азота почвы. Степень влияния удобрений на различные физиологические группы микроорганизмов, осуществляющих трансформацию азота органического вещества почвы различна. Наибольшее воздействие они оказали на заселенность почвы аммонифицирующими микроорганизмами, наименьшее – денитрифицирующими. Так, в пахотном слое почвы численность аммонифицирующих, нитрифицирующих и денитрифицирующих микроорганизмов возрастала на 47,9; 22,0 и 6,7 %, подпахотном – на 30,6; 21,7 и 1,2 % соответственно.

Следовательно, под воздействием минеральных удобрений происходит оптимизация структуры микробоценоза азотного цикла, то есть сдвиг численности микрофлоры в сторону увеличения аммонифицирующих и нитрифицирующих, количество денитрифицирующих бактерий при этом остается практически на одном и том же уровне – свойственном почве с естественным уровнем плодородия.

Численность почвенной микрофлоры динамичный показатель. Это, прежде всего, связано с количеством и составом поступающих в почву остатков биоценоза, погодными условиями и применяемой агротехникой. Наиболее полную информацию о действии удобрений на биогенность почвы позволяет получить мониторинг микрофлоры в условиях длительного стационарного опыта. В этом плане представляют интерес данные О.В. Енкиной и Н.Ф. Коробского [5] по изучению действия минеральных удобрений на биогенность чернозема выщелоченного по ротациям зерно-травяно-пропашного севооборота (таблица 82).

Как видно из данных таблицы 80, приведенных авторами, минеральные удобрения повышали общую биогенность почвы, при этом степень влияния на различные физиологические группы микроорганизмов была не одинакова. Наиболее сильное влияние удобрения оказали на заселенность почвы бактериями, участвующие в трансформации азота и олигофосфатов. Повышение численности целлюлозоразлагающих микроорганизмов на удобренных полях севооборота обнаружено лишь со второй ротации, что, по мнению О.В. Енкиной и Н.Ф. Коробского [5], объясняется постепенным накоплением минерального азота в почве, к которому у этих организмов повышенная требовательность. Актиномицеты в течение всех трех ротаций севооборота слабо реагировали на удобрения. Заметный рост численности грибов под влиянием удобрений про-

изошел лишь в третьей ротации севооборота. По мнению авторов, это связано с большой буферностью чернозема выщелоченного и незначительным изменением реакции почвенного раствора [25].

Таблица 82 – Влияние минеральных удобрений на численность микроорганизмов в пахотном слое почвы по ротациям севооборота, % к контролю

Микроорганизмы	Доза удобрения					
	оптимальная	высокая	оптимальная	высокая	оптимальная	высокая
	1-ротация		2-ротация		3-ротация	
Бактерии:						
аммонифицирующие	155	257	137	128	132	147
нитрифицирующие	100	109	192	267	144	151
денитрифицирующие	142	180	230	295	126	131
использующие N минеральный	107	114	112	127	133	133
расщепляющие органофосфаты	112	131	130	128	104	116
расщепляющие олигофосфаты	127	124	109	139	135	135
целлюлозоразлагающие	96	96	115	115	118	118
Актиномицеты	108	109	111	137	99	96
Грибы	104	109	108	110	126	126

Таким образом, мониторинг показывает, что научно-обоснованная система удобрения севооборота положительно отражается на численности бактерий, участвующих в трансформации азота, но в то же время не приводит к существенному изменению количества актиномицетов и грибов, населяющих почву.

8.2 Ферментативная активность

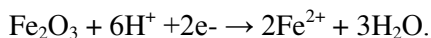
Минеральные удобрения, изменяя питательный режим почвы, существенным образом воздействует на ее ферментативную активность. Поэтому сведения о характере изменении этих показателей необходимы для объективной оценки действия удобрений.

Ферментативная активность почвы – совокупность процессов, катализируемых внеклеточными (иммобилизованными на поч-

венных частицах и стабилизированными в почвенном растворе) и внутриклеточными ферментами почвенной биоты. В почве накапливается определенный «пул» ферментов, количественный и качественный состав которого характерен для данного типа почвы. Интенсивность ферментативных процессов в почве определяется наличием и концентрацией в ней субстрата, окислительно-восстановительными, кислотно-щелочными и гидротермическими условиями. Ферментативная активность почвы – один из показателей ее биологической активности, характеризующий потенциальную способность системы сохранять гомеостаз [8].

В настоящее время в почве обнаружено около 25 ферментов. Однако, наибольшее внимание исследователей привлекают протеаза, уреазы, фосфатазы, нитратредуктазы, инвертазы, каталазы, ферриредуктазы, дегидрогеназы, полифенооксидазы и пероксидазы [18,19]. Функции этих ферментов различны. Так, уреазы катализируют гидролиз мочевины. Фосфатазы осуществляют процессы минерализации органических фосфорсодержащих соединений. Каталазы участвуют в реакциях разложения перекиси водорода на воду и кислород. Полифеноксидазы катализируют окисление моно-, ди- и трифенолов до хинонов, инвертазы – превращения соединений углерода, пероксидазы – ароматических веществ [18,19,23]. Следовательно, ферменты связаны с наиболее ключевыми биохимическими процессами, происходящими в почве: питанием растений, плодородием, превращением гумусовых веществ и окислительно-восстановительным режимом [19].

Одним из показателей, характеризующих интенсивность биохимических процессов почвы, служит также активность ферриредуктазы – фермента, использующего кислород оксида железа в качестве акцептора электронов в цепи окислительно-восстановительных процессов в почве. При этом оксид железа восстанавливается в закисную форму:



Донорами водорода, как правило, служат органические соединения почвы. Многие почвенные микроорганизмы способны восстанавливать оксид железа и обладают высокой ферриредуктазной активностью. Оптимальные условия для их развития создаются при одновременном наличии в почвенной среде окисленных форм железа и растворенных органических веществ.

Согласно оценочной шкале Д.Г. Звягинцева [7] чернозем выщелоченный после третьей ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота имеет среднюю степень обогащенности гидролитическими ферментами (таблица 83).

Таблица 83– Активность гидролитических ферментов в черноземе выщелоченном

Вариант	Слой почвы, см	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г почвы за 24 ч.	Уреазы, мг N-NH ₃ на 10 г почвы за 24 ч.	Фосфатаза, мг P ₂ O ₅ на 10 г почвы за 24 ч.
Без удобрений	0-20	15,6	10,7	2,9
	21-40	11,1	6,3	1,6
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	20,8	14,5	2,7
	21-40	13,4	8,6	1,4

Как видно из таблицы 83, активность инвертазы, уреазы и фосфатазы различались по слоям почвы и зависела от внесения удобрений. Относительно высокой ферментативной активностью отличается верхний 0-20 см слой почвы, который характеризуется высокой биогенностью. Активность инвертазы, уреазы и фосфатазы в 0-20 см слое превышала соответствующие показатели на 28,8; 58,9 и 55,2 % по сравнению с показателями в 21-40 см слоя почвы.

Влияние минеральных удобрений на активность гидролитических ферментов было неоднозначным. Наблюдалась тенденция к повышению активности инвертазы и уреазы, и снижению активности фосфатазы. Причем такая закономерность действия минеральных удобрений на активность гидролитических энзимов проявлялась как в пахотном, так и подпахотном слоях почвы. Так, активность ферментов инвертазы и уреазы под воздействием вносимых под культуры севооборота минеральных удобрений возрастала соответственно на 33,3 и 35,5 % в пахотном, на 20,7 и 36,5 % – в подпахотном слоях почвы. Активность фосфатазы, систематически удобряемой почвы несколько ниже, чем неудобряемой. Причем такое влияние минеральных удобрений на данный показатель проявляется как для 0-20 см, так и для 21-40 см слоя почвы. Вероятно, снижение темпов минерализации фосфорсодержащих органических соединений происходит вследствие высокого содержания подвижных фосфатов в удобренной почве.

Из класса оксидогеназ объектами исследования служили ферменты каталаза, пероксидаза, ферриредуктаза и полифенолоскидаза (таблица 84).

Таблица 84 – Активность окислительно-восстановительных ферментов в черноземе выщелоченном

Вариант	Слой почвы, см	Каталаза, см ³ O ₂ на 1 г почвы за 2 мин.	Пероксидаза, мг пурпургалина на 100 г почвы за 30 мин.	Полифенолоскидаза, мг пурпургалина на 100 г почвы за 30 мин.	Ферриредуктаза, мг Fe ₂ O ₃ / 100 г почвы за 48 ч.
Без удобрений	0-20	3,2	1,8	2,0	5,8
	21-40	2,2	1,0	1,6	3,78
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	3,9	1,7	2,9	10,8
	21-40	2,8	0,9	1,9	7,47

Как видно из представленных в таблице данных, активность ферриредуктазы среди оксидоредуктаз была наибольшей. Довольно высокой была и активность каталазы. Согласно оценочной шкале Д.Г. Звягинцева [7] чернозем выщелоченный имеет среднюю степень обогащенности этим ферментом. Сравнительно повышенная каталазная активность почвы на наш взгляд объясняется высоким содержанием в почве железа [20]. Как известно каталаза является двухкомпонентным ферментом, состоящим из белка и соединенной с ним активной группой. Активной простетической группой его служит гем, в котором атом железа соединен с тетрапирольной кольцевой структурой – порфириновым кольцом. Каталаязная активность почвы есть потенциальная ее способность расщеплять перекись водорода на воду и молекулярный кислород.

Активность каталазы была максимальной в пахотном 0-20 см слое почвы. В подпахотном 21-40 см слое активность этого фермента уменьшилась на 37,5 %, что связано со снижением с глубиной содержания гумуса и биогенности почвы. Применяемая научно-обоснованная система удобрения культур севооборота сказалась положительно на каталазную активность почвы. Усиление ее проявляется как в пахотном (+ 21,9 %), так и подпахотном (+ 27,3 %) слоях почвы.

Наряду с ферриредуктазой и каталазой, одним из показателей, характеризующих интенсивность биохимических процессов почвы служат активность пероксидазы. Это двухкомпонентный фермент, представляющий собой сочетание активной группы, вступающей в химическое взаимодействие с субстратами, и коллоидального белкового «носителя», усиливающего каталитическое действие этой группы [2].

Пероксидаза катализирует окисление различных полифенолов, алифатических и ароматических аминов, а также жирных кислот, цитохрома и глутатиона. Реакция окисления осуществляется с помощью перекиси водорода или органической перекиси. С перекисью водорода пероксидаза образует комплексное соединение, в результате перекись активируется и действует как акцептор водорода [11]. Следовательно, фермент пероксидаза выполняет ключевую роль в разложении свежих остатков биоценоза и минерализации гумуса почвы.

Наиболее высокой пероксидазной активностью обладает верхний 0-20 см слой почвы. Это объясняется большей гумусированностью его, а также высокой биогенностью. В подпахотном 21-40 см слое почвы активность этого энзима была ниже на 44,4 %, чем в пахотном.

Система удобрения культур севооборота практически не отразилась на активности пероксидазы, что свидетельствует о замедлении процесса минерализации гумуса почвы.

Показателем интенсивности протекания окислительных процессов в почве служат также активность полифенолоксидазы, которая относится к энзимам, содержащим в простетической группе атом меди. Этот фермент в присутствии молекулярного кислорода окисляет полифенолы и их производные в хиноны. Полифенолоксидазная активность является одним из показателей усиления процесса гумификации органических остатков биоценоза.

Характер профильного распределения активности полифенолоксидазы аналогичен и совпадает с таковой характерной для других окислительно-восстановительных ферментов – каталазы и пероксидазы. Можно лишь отметить, что активность полифенолоксидазы более плавно, чем активность каталазы и пероксидазы, уменьшается с глубиной. По удобренному севообороту прослеживается четко выраженная тенденция повышения активности полифенолоксидазы.

Подводя итог обсуждению результатов изучения насыщенности чернозема выщелоченного энзимами, следует отметить, что

минеральные удобрения, вносимые под культуры севооборота в научно-обоснованных нормах, служат мощным агрогенным фактором повышения его ферментативной активности. Их внесение позволяет поддерживать достаточно высокий уровень активности гидrolитических и окислительно-восстановительных энзимов. Тем не менее, следует отметить, что действие минеральных удобрений на ферментативную активность почвы не происходит в одном направлении, оно имеет специфический характер. Так, удобрения усиливают активность инвертазы и уреазы, но ингибируют фосфатазу. Под их воздействием возросла активность ферриредуктазы и полифенолоксидазы – фермента, связанного с процессами гумусообразования, а активность пероксидазы – фермента, участвующего в минерализации гумуса, наоборот несколько снизилась. Этим подтверждаются данные [20] об увеличении содержания гумуса в черноземе выщелоченном при оптимизации системы удобрения культуры 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота.

Высокая активность каталазы свидетельствует о том, что удобрения усиливают процесс разложения перекиси водорода в почве. По удобренному севообороту просматривается тенденция повышения активности этого фермента.

Показатель отношения активности ферриредуктазы к активности каталазы свидетельствует о преобладании восстановительных процессов над окислительными. Этот показатель значительно выше в пахотном слое почвы по сравнению с подпахотным (5,8-10,8 против 3,8-7,5). При этом на длительно удобряемой почве указанное отношение окислительно-восстановительных ферментов шире, чем на неудобряемой.

8.3 Интенсивность «дыхания», аммонифицирующая и нитрифицирующая способность

Применение удобрений в сельскохозяйственном производстве приводит к перестройке экологической обстановки, что в свою очередь отражается на численности и структуре микробного сообщества почвы и ее биологической активности [21]. Изучение этих проблем должно быть одной из приоритетных направлений исследований экологической агрохимии. Они, наряду с агрохимическими исследованиями, послужат теоретической основой для повышения плодородия и продуктивности почв, а также разработке мероприятий по охране окружающей среды [6,12,15,22].

При изучении биологической активности помимо ферментов, численности и качественного состава микрофлоры учитывают «дыхание», аммонифицирующую и нитрифицирующую способности, амилолитическую, протеолитическую и целлюлозолитическую активности [3,10].

В цикле превращения азота в почве центральное место занимают процессы аммонификации и нитрификации. В результате аммонификации происходит распад органических азотсодержащих соединений и высвобождение аммиака, который связывается почвенно-поглощающим комплексом и используется микрофлорой и растениями. Определенная часть аммиака улетучивается в атмосферу, а также подвергается нитрификации – окислению аммонийного азота до нитратов. Интенсивная нитрификация – один из признаков культурного состояния почвы, ее нитрификационная способность характеризует в некоторой степени эффективное плодородие почвы. В то же время нитраты, в отличие от аммонийного азота, не поглощаются отрицательно заряженными почвенными коллоидами и не образуют нерастворимых или слабо растворимых солей. Это в свою очередь, приводит к их вымыванию из почвы и загрязнению водоемов. Потери нитратов особенно значительны на затопляемых рисовых почвах [21]. Оптимальным для питания растений считается соотношение аммонифицирующей и нитрифицирующей активности в почве 1,25-1,50 [3,15,16].

Полученные в различных регионах Российской Федерации и за рубежом данные по влиянию минеральных удобрений на отдельные показатели биологической активности почв имеют противоречивый характер [9,12,15,16,25].

Наиболее ярким показателем биологической активности почвы служат ее аммонифицирующая и нитрифицирующая способности. Данные количественного определения их свидетельствуют о высокой потенциальной активности чернозема выщелоченного (таблица 85).

В пахотном слое почвы активность процесса аммонификации значительно выше, чем в подпахотном. Это связано с уменьшением численности аммонифицирующих микроорганизмов и содержания органического вещества ниже пахотного ее слоя. В неудобренной почве процесс аммонификации протекает слабее, чем в удобренной: превышение в пахотном слое составляло 26,7 %, подпахотном – 12,9 %.

Таблица 85 – Интенсивность «дыхания», аммонифицирующая и нитрифицирующая активность чернозема выщелоченного

Вариант	Слой почвы, см	Интенсивность «дыхания», мг CO ₂ за сут. на 100 г почвы	Аммонифицирующая активность, мг NH ₄ на 100 г почвы	Нитрифицирующая активность, мг NO ₃ на 100 г почвы	Соотношение аммонифицирующей активности к нитрифицирующей
Без удобрений	0-20	36,5	10,1	5,3	1,9
	21-40	20,4	6,2	2,9	2,1
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	46,0	12,8	8,8	1,4
	21-40	26,2	7,0	3,5	2,0

Характер изменений нитрифицирующей активности почвы был аналогичным ее аммонифицирующей: с глубиной она уменьшается, а под воздействием удобрений возрастает. Под влиянием внесимых на полях севооборота минеральных удобрений уменьшается соотношение аммонифицирующей и нитрифицирующей активности почвы: в пахотном слое на 0,5 единиц, подпахотном – 0,1 единиц.

Удобрения повышают напряженность биологических процессов в почве, оказывают заметное влияние на выделение ею диоксида углерода. На неудобренной почве интенсивность «дыхания» была значительно ниже, чем в удобряемой. Все это свидетельствует о том, что при выращивании сельскохозяйственных культур без применения удобрений, в почве создаются неблагоприятные условия для жизнедеятельности микрофлоры, в результате чего снижается ее активность, а, следовательно, и плодородие. Подтверждением этого могут служить данные о продуктивности севооборота [22].

Следует, в отношении термина «дыхание», несколько оговориться, так как лишь незначительная часть выделяемого почвой диоксида углерода образуется в процессе дыхания ее живой фазы. В почве широко развиты процессы декарбоксилизации, освобождающие большое количество свободного диоксида углерода. Это последний и составляет основное содержание выделяемого почвой диоксида углерода [9,10,17].

8.4 Амило-, протео- и целлюлозолитическая активности

Изменения интенсивности «дыхания» почвы коррелируют с амино-, протео- и целлюлозолитической активностью (таблица 86). По всей вероятности, действие микрофлоры на интенсивность «дыхания» оказалась существенным фактором, регулирующим общее направление биохимических процессов в почве.

Таблица 86 – Амило-, протео- и целлюлозолитическая активность чернозема выщелоченного

Вариант	Слой почвы, см	Амилолитическая активность, мг крахмала на 1 г почвы за 24 ч	Протеолитическая активность, мг аминного азота на 1 г почвы за 24 ч	Целлюлозолитическая активность, мг целлюлозы на 100 г почвы за 24 ч
Без удобрений	0-20	0,42	0,50	2,80
	21-40	0,21	0,34	0,96
N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	0-20	0,58	0,78	4,08
	21-40	0,28	0,52	1,25

Амилолитическая активность почвы различна на неудобряемой и ежегодно удобряемой полях севооборота. Удобрения оказали положительное влияние на этот показатель: возрастает на 38,1 % в пахотном и на 33,3 % – в подпахотном слое.

Протеолитическая активность служит своеобразным индикатором интенсивности гидролиза почвенных протеинов, значительное количество которых входит в состав органического вещества. Высокая протеолитическая активность почвы может способствовать как улучшению азотного питания растений, так и возрастанию непродуцируемых потерь азота.

Протеолитическая активность почвы была различной по изучаемым слоям почвы: падает с глубиной. Уменьшение на неудобренной почве составило 32,0 %, удобряемой – 28,8 %.

Систематическое внесение минеральных удобрений на полях севооборота привело к повышению протеолитической активности почвы на 56,0 % в пахотном, 52,9 % в подпахотном ее слоях. Усиление протеолитической активности объясняется усилением активности процесса минерализации органического вещества почвы.

Целлюлозолитическая активность почвы в значительной степени определяется интенсивностью аммонификации и нитрификации, так как целлюлозоразрушающие микроорганизмы для своего развития нуждаются в азоте. Высокая энергия процессов аммонификации и нитрификации, в результате которых возрастает содержание минеральных форм азота в почве способствует увеличению численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов и их физиологической активностью.

Интенсивность разложения целлюлозы наиболее высокая в пахотном 0-20 см слое почвы, в подпахотном 21-40 см слое оно значительно уменьшается. Связано это с недостатком кислорода для жизнедеятельности целлюлозоразрушающих микроорганизмов и более низким содержанием свежих целлюлозосодержащих остатков агроценоза ниже пахотного слоя почвы.

Целлюлозолитическая активность почвы выше на ежегодно удобряемом севообороте, чем на неудобряемом: на 45,7 % в пахотном, на 30,2 % в подпахотном слое.

Научно-обоснованная система удобрения севооборота оказывает положительное влияние на биологическую активность чернозема выщелоченного. Усиливаются процессы аммонификации и нитрификации, повышается интенсивность «дыхания» почвы, усиливаются ее амило-, протео- и целлюлозолитическая активности. Указанные изменения наиболее четко выражены в верхнем 0-20 см слое, чем в 21-40 см слое почвы [26-28].

Выводы. Чернозем выщелоченный характеризуется высокой биогенностью. Максимальная численность микроорганизмов отмечена в пахотном 0-20 см слое почвы – $271 \cdot 10^6$ клеток в 1 г. В подпахотном 21-40 см слое их количество заметно снижается – $188,9 \cdot 10^6$ клеток в 1 г почвы. Доля бактерий, актиномицетов и грибов в общем микробоценозе пахотного слоя – составляло соответственно 63,6; 34,2 и 2,2 %, подпахотного – 52,3; 46,6 и 1,1 %. Научно-обоснованная система удобрения сельскохозяйственных культур, применяемая в зерно-травяно-пропашном севообороте отразилась на численности и видовом составе микрофлоры чернозема выщелоченного: возросло численность бактерий в пахотном слое на 10,9 %, подпахотном – 13,9 %. Под воздействием удобрений заметно увеличилась и заселенность почвы грибами: в пахотном слое на 62,7 %, подпахотном – 52,4 %. В то же время удобрения действовали депрессивно на актиномицеты.

Их численность в пахотном и подпахотном слоях снизилась на 2,3 и 2,6 % соответственно. Степень влияния удобрений на физиологические группы микроорганизмов различна. Наибольшее воздействие они оказали на заселенность почвы аммонифицирующими микроорганизмами, наименьшее – денитрифицирующими. Так в пахотном слое почвы численность аммонифицирующих, нитрифицирующих и денитрифицирующих микроорганизмов возростала на 47,9; 22,0 и 6,7 %, подпахотном – на 30,6; 21,7 и 1,2 % соответственно.

Удобрения усилили напряженность биологических процессов в черноземе выщелоченном: в пахотном слое возросла интенсивность «дыхания» на 26,0 %, аммонифицирующая и нитрифицирующая активности на 26,7 % и 66,0 %, подпахотном – соответственно на 28,4 %; 12,9 и 20,7 %.

Применяемые в севообороте удобрения оказали разнонаправленное влияние на энзиматическую активность чернозема выщелоченного: активность ферментов инвертазы, уреазы, каталазы, ферриредуктазы и полифенолоксидазы повысилась на 33,3%, 35,5, 21,9, 86,2, 45,0 % в пахотном слое и на 20,7 %, 36,5, 27,3, 97,6, 18,8 % в подпахотном, а фосфатазы, пероксидазы снижаются соответственно на 6,9, 5,6 % в пахотном слое и на 12,5, 10,0 % в подпахотном.

Изменения интенсивности «дыхания» чернозема выщелоченного коррелирует с амило-, протео- и целлюлозолитической активностью. Систематическое внесение удобрений на полях севооборота привело к повышению амило-, протео- и целлюлозолитической активности почвы на 33,3-38,1 %, 52,9-65,0 и 30,2-45,7 %. Наибольшие значения этих показателей соответствуют пахотному слою почвы.

Литература

1. Алешин Е.П. Микрофлора почвы рисового поля при внесении микродобриений / Е.П. Алешин, Н.С. Головкин, А.Х. Шеуджен, О.А. Досева // Доклады ВАСХНИЛ. – 1990. – №11. – С. 11-13.
2. Андреева В.А. Фермент пероксидаза / М.: Наука, – 1988. – 128 с.
3. Войнова-Райкова Ж. Микроорганизмы и плодородие / Ж. Войнова-Райкова, В. Ранков, Г. Ампова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 120 с.
4. Емцев В.Т. Микробиология / В.Т. Емцев, В.К. Шильникова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 191 с.
5. Енкина О.В. Микробиологические аспекты сохранения плодородия черноземов Кубани / О.В. Енкина, Н.Ф. Коробской. – Краснодар: Агропромполиграфиздат, 1999. – 150 с.

6. Завалин А.А. Применение биопрепаратов и биологический азот в земледелии Нечерноземья / А.А. Завалин, Н.С. Алметов. – М.: ВНИИА, 2009. – 152 с.
7. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкала для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48–54.
8. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы / М.: МГУ, – 1987. – 256 с.
9. Круглов Ю.В. Биологические основы плодородия почвы / Ю.В. Круглов. – М.: Колос, 1984. – 252 с.
10. Купревич В.Ф. Почвенная энзимология / В.Ф. Купревич, Т.А. Щербакова. – Минск: Наука и техника, 1956. – 275 с.
11. Лебедев С.И. Физиология растений / М.: Агропромиздат, – 1988. – 544 с.
12. Минеев В.Г. Агрохимия, биология и экология почвы / В.Г. Минеев, Е.Х. Ремпе. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 206 с.
13. Мишустин Е.Н. Удобрения и почвенно-микробиологические процессы / Е.Н. Мишустин // Агрономическая микробиология. – Л.: Колос, 1976. – С. 191-203.
14. Муромцев Г.С. Микробиология в сельском хозяйстве / Г.С. Муромцев. – М.: Знание, 1975. – 64 с.
15. Почвенная микробиология / Пер. с англ. В.В. Новикова; под ред. Д.И. Никитина. – М.: Колос, 1976. – 316 с.
16. Руссель С. Микроорганизмы и жизнь почвы / С. Руссель. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
17. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. – М.: Дрофа, 2004. – 256 с.
18. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв / М.: Наука, – 1976. – 180 с.
19. Чундерова А.И. Биохимическая деятельность микрофлоры и плодородия почв // Агрономическая микробиология. – М.: Колос, – 1976. – С. 47–82.
20. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2015. – 232 с.
21. Шеуджен А.Х. Влияние микроэлементов на аммонифицирующую и нитрифицирующую активности почвы в условиях рисосеяния / А.Х. Шеуджен, О.А. Досеева, К.М. Авакян, Т.Ф. Бочко / Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине. – Самарканд, 1990. – С. 247-248.
22. Шеуджен А.Х. Плодородие и продуктивность чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений в севообороте / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, В.П. Суетов, В.В. Дроздова, Т.Н. Бондарева, И.А. Лебедевский, С.В. Жиленко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, И.А. Буддыкова / 75 лет Географической сети опытов с удобрениями. Матер. Всер. сов. науч. учреждений-участников Георг. сети опытов с удобрениями (5 октября 2016 г.). – М.: ВНИИА, 2016. – С. 326-336.

23. Шеуджен А.Х. Изменение ферментативной активности почвы рисового поля под влиянием микроудобрений /А.Х. Шеуджен, Е.П. Алешин, О.А. Досеева //Доклады ВАСХНИЛ. – 1991. – № 8. – С. 16–18.

24. Шеуджен А.Х. Теория и практика применения микро- и ультрамикроудобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2016. – 380 с.

25. Ярошевич И.В. Влияние 50-летнего применения удобрений в севообороте на биологическую активность почвы / И.В. Ярошевич // Агрохимия, 1966. – № 6. – С. 12-17.

26. Шеуджен А.Х. Микрофлора чернозема выщелоченного при длительном применении минеральных удобрений / А.Х. Шеуджен, С.А. Кольцов, О.А. Гуторова, И.А. Лебедовский, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Межд. научн.-исслед. журнал. 2017. № 2-2 (56). С. 89-94.

27. Шеуджен А.Х. Ферментативная активность чернозема выщелоченного при длительном применении минеральных удобрений / А.Х. Шеуджен. С.А. Кольцов, О.А. Гуторова, И.А. Лебедовский, Л.М. Онищенко. М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Наука Кубани. 2017. №1. С. 35-39.

28. Шеуджен А.Х. Микрофлора и биологическая активность чернозема выщелоченного при длительном применении минеральных удобрений / А.Х. Шеуджен, О.А. Гуторова, Х.Д. Хурум, И.А. Лебедовский, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, Р.В. Штуц // Энтузиасты аграрной науки. – Краснодар: КубГАУ. 2017. Вып. 18. С. 227-246.

9. АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

9.1 Продуктивность севооборота

Основным критерием, характеризующим уровень плодородия почв, является урожай. В течение трех ротаций 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота на черноземе выщелоченном изучали влияние систематического внесения минеральных удобрений на его продуктивность.

Для оценки продуктивности севооборота при разном уровне насыщения его удобрениями был определен среднегодовой выход общей продукции с 1 га севооборотной площади, выраженной в зерновых единицах. Суммарная продуктивность севооборота без использования минеральных удобрений в первую ротацию составила 45,42 т/га зерновых единиц основной продукции, а во вторую и третью – выход продукции снизился соответственно на 1,28 и 6,42 т/га зерновых единиц (таблица 87). Применение даже половины рекомендуемой для культур севооборота нормы удобрений позволило повысить продуктивность пашни в первую, вторую и третью ротации севооборота соответственно на 12,68, 16,17 и 15,85 т/га зерновых единиц основной продукции.

Таблица 87 – Суммарная продуктивность 11-ти польного зерно-травяно-пропашного севооборота, т/га зерн. ед.

Ротация	Без удобрений	N ₈₇₀ P ₈₇₀ K ₅₈₀	N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	N ₂₆₁₀ P ₂₆₁₀ K ₁₇₄₀
Первая	45,42	58,10	75,34	68,53
Вторая	44,14	60,31	78,43	71,40
Третья	39,00	54,85	73,79	68,55

НСР₀₅ для сравнения норм удобрения = 2,56;

НСР₀₅ для сравнения по ротациям = 2,95

Максимальной продуктивности севооборот достигал при применении минеральных удобрений в оптимальном количестве, которая была выше, чем не удобряемый севооборот на 29,92, 34,29 и 34,79 зерновых единиц соответственно в первую, вторую и третью ротацию. Рост продуктивности от внесения повышенных количеств минеральных удобрений (N₂₆₁₀P₂₆₁₀K₁₇₄₀) изначально ниже, чем при внесении научно-обоснованных норм, т. е. N₁₇₄₀P₁₇₄₀K₁₁₆₀. Это, по-

видимому, обусловлено нарушением соотношения элементов питания в почве в связи с накоплением остаточных количеств фосфатов при неизменном калийном статусе и обеднении ее азотом.

В результате химического анализа растений и их урожая установлено, что систематическое применение удобрений создает благоприятные условия для усиления поступления элементов питания в корни, целенаправленного изменения физиолого-биохимических процессов, протекающих в растительном организме и регулирования в определенной степени не только величины, но и качества урожая культур севооборота. При этом степень влияния удобрений на биосинтез отдельных компонентов в растениях и накопление их в товарной части в значительной степени зависит от дозы и условий их внесения.

Минеральные удобрения оказали положительное влияние на качество урожая культур севооборота, увеличивая у пшеницы, кукурузы и сои содержание белка в зерне, подсолнечника – масла в семенах, сахарной свеклы – сахара в корнеплодах, люцерны – протеина в зеленой массе (таблица 88).

Таблица 88 – Качество растениеводческой продукции при длительном применении минеральных удобрений

Вариант	Пшеница озимая		Кукуруза	Соя	Подсолнечник	Свекла сахарная	Люцерна
	содержание, %						
	белок	клейковина	белок		масло	сахар	протеин
000	11,3	17,4	8,3	29,7	53,9	14,0	16,6
111	11,7	18,1	8,6	31,2	54,0	17,1	17,2
222	13,3	20,3	9,6	32,8	56,9	18,7	18,0
333	13,7	21,7	8,8	32,0	54,8	15,7	18,8

В зависимости от насыщенности севооборота удобрениями у пшеницы озимой содержание белка в зерне повысилось на 0,4-2,4 %, клейковины – на 0,7-4,3 %.

Под влиянием удобрений содержание белка в семенах кукурузы и сои возрастало на 0,3-1,3 и 1,5-3,1 % соответственно; повышение содержания масла в семенах подсолнечника составило 0,1-3,0 %. Сахаристость корнеплодов сахарной свеклы в зависимости от количества вносимых удобрений увеличивалась на 1,7-4,7 %. Удобрения повышали содержание протеина в зеленой массе люцерны на 0,6-2,2 %.

9.2 Окупаемость минеральных удобрений

Для установления агроэкологически целесообразной степени насыщения севооборота удобрениями была определена окупаемость удобрений прибавкой основной сельскохозяйственной продукции (таблица 89). Надо отметить, что произведенные расчеты дают несколько завышенные результаты, т. к. в длительном опыте к прямому действию удобрений присоединяется и их последствие.

Таблица 89 – Окупаемость 1 кг д. в. минеральных удобрений, кг зерн. ед.

Ротация	$N_{870}P_{870}K_{580}$	$N_{1740}P_{1740}K_{1160}$	$N_{2610}P_{2610}K_{1740}$
Первая	5,56	6,44	3,32
Вторая	7,09	7,39	3,92
Третья	6,95	7,50	4,94

Окупаемость минеральных удобрений определяется прибавкой урожая и количеством внесенных удобрений, от которых она же и зависит. Самая высокая окупаемость – 6,44, 7,39 и 7,50 кг зерновых единиц на 1 кг действующего вещества полного минерального удобрения отмечена при их внесении из расчета $N_{1740}P_{1740}K_{1160}$ за ротацию 11-ти польного севооборота, т. е. при оптимизации системы удобрения культур севооборота. При внесении недостаточных количеств удобрений так и высокой насыщенности ими севооборота окупаемость их была ниже. Следует обратить внимание, что повышенные количества удобрений нецелесообразно с точки зрения их эффективного использования. Это иллюстрирует и сокращение окупаемости 1 кг действующего вещества удобрений прибавкой урожая, которая в 1,5–1,9 раз ниже, чем при их применении в оптимальной норме.

9.3 Баланс биогенных элементов в системе удобрения-почва-урожай

С агроэкологической точки зрения критерием эффективности системы удобрения является баланс элементов питания в почве. Игнорирование баланса биогенных элементов питания растений в почве может привести к нарушению в почве оптимального соотношения между азотом и зольными элементами, что повлечет за собой снижение продуктивности культур севооборота. Д.Н. Прянишников [1] неоднократно в своих выступлениях указывал, что примерные подсчеты баланса азота, фосфора и калия за

ротацию севооборота могут быть использованы для оценки системы удобрения и для выявления соответствия принятых систем удобрения задачам получения заданных уровней урожая.

Баланс биогенных элементов определялся уровнем насыщенности севооборота удобрениями и связанным с этим их выносом с урожаями культур (таблица 90).

Таблица 90 – Баланс азота, фосфора и калия по ротациям севооборота, кг/га

Ротация	N ₈₇₀ P ₈₇₀ K ₅₈₀	N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀	N ₂₆₁₀ P ₂₆₁₀ K ₁₇₄₀
		Азот	
Первая	-24,5	-22,6	+1,9
Вторая	-31,5	-24,8	-16,0
Третья	-32,6	-26,0	-14,8
		Фосфор	
Первая	-5,7	+18,6	+25,0
Вторая	-10,7	+7,8	+30,7
Третья	-12,9	+10,2	+31,5
		Калий	
Первая	-19,2	-5,5	+8,6
Вторая	-26,5	-14,7	-11,6
Третья	-28,7	-16,9	-14,0

Положительный баланс азота и калия имел место только при высокой насыщенности севооборота удобрениями – и то лишь в первой ротации. В последующие ротации он был отрицательным даже при внесении под культуры повышенных количеств (N₂₆₁₀P₂₆₁₀K₁₇₄₀) удобрений.

Дефицит азота составлял 16,0 кг/га во вторую ротацию и 14,8 кг/га в третью, калия – 11,6 и 14,0 кг/га соответственно. В отличие от азота и калия, оптимальная норма применения удобрений (N₁₇₄₀P₁₇₄₀K₁₁₆₀) обеспечивает положительный баланс фосфора. Превышение этой нормы сопровождается еще большим разрывом между его приходом и расходом. Баланс в почве биогенных элементов, складывающийся при применении удобрений в оптимальном количестве, указывает на необходимость совершенствования системы удобрения севооборота в Центральной агроклиматической зоне Краснодарского края [2,3].

Выводы. Длительное применение минеральных удобрений в оптимальном для питания растений количестве (N₁₇₄₀P₁₇₄₀K₁₁₆₀) на

черноземе выщелоченном обеспечивает повышение общей продуктивности 11-ти польного зерно-травяно-пропашного севооборота.

При внесении удобрений из расчета $N_{1740}P_{1740}K_{1160}$ окупаемость 1 кг действующего вещества составляла 6,44, 7,39 и 7,50 кг зерновых единиц соответственно в первую, вторую и третью ротации.

Баланс биогенных элементов в почве, складывающийся при применении удобрений, указывает на необходимость совершенствования системы удобрения севооборота в Центральной агро-климатической зоне Краснодарского края.

Литература

1. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. В 3-х томах / Д.Н. Прянишников. – М.: Колос, 1965. Т. 1. – 767 с, Т. 2. – 708 с, Т. 3.-640 с.

2. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения минеральных удобрений на плодородие чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, Т.Н. Бондарева, В.В. Дроздова, И.А. Лебедевский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Агрoхимия. 2017. №5. С. 3-11.

3. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения минеральных удобрений на продуктивность и плодородие чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, И.А. Лебедевский, В.В. Дроздова, Т.Н. Бондарева, М.А. Осипов, В.П. Суетов, С.В. Жиленко, С.В. Есипенко // Энтузиасты аграрной науки. – Краснодар: КубГАУ. 2017. Вып. 18. С. 61-75.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В основе всякого знания есть опыт... Всякий опыт есть мысль.

Ю. Либих

Почва является основным средством сельскохозяйственного производства. Присущее ей свойство – плодородие используется в практике для производства сельскохозяйственной продукции, в которой нуждается человеческое общество. Но почва и ее плодородие находятся в динамике, в развитии и изменяются как в ходе естественных процессов – без освоения, так и, особенно, при освоении – при использовании в производственной деятельности людей.

Основоположник науки о почве профессор В.В. Докучаев очень четко подчеркнул динамичность почвы как природного тела, указав: «Почва, как и любой растительный и животный мир, вечно развивается и изменяется, то прогрессируя, то регрессируя». Определяя понятие, почва он указал, что под почвой понимается природное естественно-историческое тело, развивающееся под совокупным воздействием и взаимодействием факторов почвообразования – климата, растительного и животного мира, материнской и почвообразующей породы, рельефа, местности и возраста страны. В число факторов почвообразования в настоящее время включаются гидрология и производственная деятельность человека.

В своем фундаментальном труде «Почвы Ставрополя» (2005) М.Г. Куприченков пишет: «Агрохимическая наука поистине совершила переворот в представлении о плодородии почв, когда на непродуктивных, малоплодородных землях стали получать рекордные урожаи сельскохозяйственных культур. Главными факторами при этом стали два оптимума: оптимальное увлажнение и оптимальное питание растений. Получается, что естественное плодородие отодвигается на второстепенный план, а созданное человеком, вложением труда и капитала (эффективное) – на передний.

Часто бытует мнение, что широкая химизация земледелия может вредить окружающей обстановке, её экологической ситуации. Но опыт многолетних стационаров и отдельных стран показывает, что даже длительное систематическое применение минеральных удобрений не вызывает снижения почвенного плодородия. Последнее, наоборот, даже возрастает за счёт обогащения фосфором и ка-

лием удобрений, за счёт большего количества поступающих в почву органических остатков и вследствие этого происходящей активизации микробиологической деятельности. Конечно, внесение физиологически кислых туков может вызывать подкисление почвенного раствора, снижение урожайности сельскохозяйственных культур, но это нежелательное явление легко устраняется известкованием кислых почв. Но получение высоких урожаев – не только дополнительная продукция для населения. С точки зрения почвоведов, чем выше урожаи, тем больше свежего органического вещества поступает в почву, тем более ёмким становится её биологический круговорот, тем скорее почва восстанавливает своё потенциальное плодородие (мощность, гумус, структурный состав и многое другое).

Мнение о том, что с ростом урожаев за счёт минеральных удобрений снижается "качество продукции, также не отвечает действительности. Агрохимики, физиологи растений, почвоведы располагают неоспоримыми данными, что на основании листовой диагностики вполне можно внесением азотных подкормок увеличить содержание белка в зерне озимой пшеницы и довести его до III класса. А внесением фосфора и калия можно повышать содержание крахмала в картофеле и сахара в свекле. Словом, вполне реально получать продукцию растениеводства с заданным химическим составом.

Поскольку с урожаями сельскохозяйственных культур выносятся большое количество химических элементов, главным образом азота, фосфора и калия, необходимо постоянное пополнение почв ими. Но чтобы грамотно использовать удобрения следует ежегодно подсчитывать их баланс.

При внесении в почву удобрений в ней повышается количество усвояемых растениями питательных веществ, то есть повышается её «эффективное плодородие». Это выводы ученого-почвоведа за сорокалетний период исследований в области агрохимии почв.

Удобрения поддерживают активный баланс и круговорот питательных веществ в земледелии, что неразрывно связано с воспроизводством плодородия почвы. В естественных биоценозах достигается замкнутый цикл биогенных элементов, а в искусственных агроценозах происходит его разрыв в связи с отчуждением на получение урожая и значительными потерями при эрозии, инфильтрации и улетучивании. Удобрения воздействуют на весь круговорот биогенных элементов, который направляется по расширенной спирали. Они яв-

ляются и в обозримом будущем будут оставаться одним из главных рычагов повышения продуктивности растениеводства. В настоящее время их применению нет разумной альтернативы.

Находящиеся в арсенале отдельных представителей партии зеленых и их последователей лозунги: «Минеральные удобрения причиняют колоссальный ущерб людям и окружающей среде», «Интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур привели к негативным изменениям свойств почв» не имеют никакой научной основы. Об этом еще более 2000 лет назад писал агроном античного Рима Юний Модерат Колумелла в предисловии к трактату «О сельском хозяйстве»: «Я слышу, как часто у нас первые люди в государстве обвиняют то землю в бесплодии, то климат в давней губительной для урожаев неравномерности. Некоторые даже как бы смягчают эти жалобы ссылкой на определенный закон; земля, по их мнению, усталая и истощенная роскошными урожаями старых времен, не в силах с прежней щедростью доставлять людям пропитание. Я уверен, что эти причины далеко отстоят от истины. Нечестиво думать, что природа, которую отец мира наделил вечным плодородием, постигнута как некой болезнью, бесплодием, и разумный человек не поверит, что земля, получившая в удел божественную и вечную юность и именуемая всеобщей матерью, потому что она и рождает все и будет рождать и впредь, состарилась, будто человек. Я думаю поэтому, что дело не в небесном гневе, а скорее в нашей собственной вине». В споре со своим современником писателем Скромфом Трёмеллем, Колумелла восклицал, что «земля – это не устаревшая женщина, нет, это – дева, всегда юная, красивая, всегда свежая, молодая, всегда способная быть плодородною, если только уметь лелеять ее молодость, сохранять, поддерживать ее нежную, игривую жизнь». В заключение своего трактата он пишет: «Удобрение ликвидирует истощение почвы и создает условия для высоких и устойчивых урожаев». В своем учении об удобрении Колумелла исходит из того положения, что для всякой земли, истомленной посевом, есть действенное средство: «Помоги ей навозом и восстанови, словно пищей, её утраченные силы».

Италия, как и 2000 лет тому назад, благодаря широкому применению агрохимических средств на высоком фоне агротехники, и сегодня получает высокие урожаи сельскохозяйственных культур без снижения уровня плодородия почв. Поэтому поиск приемов

сохранения и воспроизводства плодородия почв за счет применения удобрений актуален.

Применение удобрений – один из разделов любого комплексного плана повышения плодородия почв. При нормальной системе земледелия, которая предусматривает сохранение почвенного плодородия, ежегодных вынос элементов питания с урожаем должен компенсироваться внесением удобрений. В силах и возможностях человека правильно организовать применение удобрений, способы, нормы и сроки их внесения с тем, чтобы сделать их безопасными и для себя, и для животных, и вообще для всей окружающей среды.

Сегодня, оценивая состояние почв, мы, прежде всего, для себя должны уяснить – чего мы хотим? Сохранить почву в первозданном, т. е. естественном состоянии как объект природы или использовать ее как средство сельскохозяйственного производства? Решение первой части вопроса реально при исключении антропогенного воздействия на нее, а если мы хотим использовать почву как средство сельскохозяйственного производства, то необходимо воспроизводить ее плодородие. А это возможно лишь при высокой культуре земледелия, активной составляющей которой является экологически безопасная система удобрения.

ОТЗЫВЫ НА ПЕРВОЕ ИЗДАНИЕ МОНОГРАФИИ

В 2015 г. вышла в свет монография А.Х. Шеуджена «Агрохимия чернозема».

Монография посвящена агрохимии выщелоченных черноземов Западного Предкавказья в условиях агрогенеза.

Во введении автор четко обозначил свою позицию в вопросе о современном состоянии плодородия почв сельскохозяйственного назначения, применения удобрений и их роли в повышении продуктивности земледелия. Автор на основании анализа высказываний ведущих ученых доказывает необходимость изменения подхода при реформировании аграрного сектора, положив в основу рационального землепользования новую стратегию интенсификации растениеводства, базирующуюся на рациональном использовании удобрений и дифференцированном воздействии на систему «почва-растение», которая предусматривает: 1) получение высококачественных и безопасных отечественных продуктов питания и сырья для промышленности; 2) полную реализацию генетического потенциала сортов возделываемых культур; 3) уменьшение зависимости продуктивности растений от погодных факторов; 4) исключение загрязнения окружающей среды при интенсивном использовании отходов в качестве удобрений. Автор отмечает, что рост производства растениеводческой продукции связан с увеличением применения удобрений в масштабах, обеспечивающих положительный баланс элементов питания, воспроизводство плодородия почв. Отрицательный баланс биогенных элементов в системе «почва – растение» — основная причина сдерживания роста урожаев. При этом А.Х. Шеуджен справедливо утверждает, что объективная комплексная оценка агроэкосистемы может быть дана только на основе накопления и обобщения научно-экспериментального материала, полученного в стационарных агрохимических опытах. Длительные стационарные агрохимические опыты являются государственным достоянием, поскольку имеют важное значение не только для решения текущих вопросов химизации земледелия, глубоких теоретических исследований в области агрохимии, но и определения стратегии применения агрохимических средств в земледелии страны.

Название первой главы «Чернозем национальное богатство России» говорит само за себя. Здесь автор обращает внимание читателя на то, что на территории РФ сосредоточена половина черно-

земов Мира. Чернозем всегда был символом величия и мощи Российского государства, его главным «кормильцем». Вопросы о его происхождении, состоянии и использовании нашли отражение в трудах М.В. Ломоносова, В.В. Докучаева, В.И. Вернадского, П.А. Костычева и многих других исследователей, которые автор кратко обобщает в этой главе. Здесь А.Х. Шеуджен дает подробнейшую характеристику выщелоченного чернозема с описанием характерного разреза этого подтипа черноземов. Далее следует описание физико-географических условий района проведения исследований климата, рельефа, растительности, гидрологии почвообразующих пород и собственно выщелоченного чернозема, на котором проводились исследования. Дано описание разреза, заложенного на опытном участке, гранулометрического состава чернозема выщелоченного, его водно-физических параметров, химического состава, физико-химических свойств и запаса гумуса.

Обращает на себя внимание глава, посвященная агробиохимической классификации химических элементов, где автор представляет свое видение этой проблемы. В основу предложенной классификации положен принцип разделения химических элементов на группы в зависимости от биологической роли и содержания их в растениях. Все элементы автор подразделяет на макроэлементы (органогенные и зольные), мезоэлементы, микроэлементы, ультрамикроэлементы, инертные элементы и техногенные элементы. На наш взгляд, сама постановка вопроса о совершенствовании классификации элементов правомерна. Поскольку зачастую один и тот же химический элемент разные авторы относят к разным группам, по-видимому, назрела необходимость разработки единой агробиогеохимической классификации химических элементов.

Последующие главы книги посвящены собственно итогам изучения влияния применяемой системы удобрения за 3 ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота на физико-химические свойства чернозема выщелоченного, его гумусное состояние, ионный состав водной вытяжки, содержание химических элементов и трансформацию их соединений.

Анализ результатов исследований изменения физико-химических свойств выщелоченного чернозема (актуальная и потенциальная кислотность, насыщенность основаниями, емкость катионного обмена) под воздействием длительного (в течение 33 лет) вне-

сения научно-обоснованных доз удобрений дает автору возможность прийти к выводу о том, что сложившееся мнение об отрицательных последствиях их применения в отношении физико-химических свойств почв сильно преувеличено. Научно-обоснованная система удобрения является неотъемлемым звеном высокой культуры земледелия и не является фактором деградации почв.

Научно-обоснованная система применения минеральных удобрений в севообороте обеспечила стабилизацию содержания гумуса за счет большего поступления в почву нетоварной части урожая, корневых и пожнивных остатков. При этом не изменилась доля гуминовых кислот в гумусе, но снизилось содержание гуминов и возросло количество фульвокислот, связанных с кальцием и полуторными оксидами, что способствовало повышению его устойчивости к минерализации.

Систематическое применение минеральных удобрений способствовало увеличению в почве концентрации водорастворимых форм азота, фосфора и калия, что положительно сказалось на развитии растений и использовании элементов питания из почвы и удобрений. В то же время в варианте без применения удобрений происходило обеднение почвы этими формами питательных элементов.

В главе «Содержание химических элементов и трансформация их соединений в черноземе выщелоченном» в разделе «Макроэлементы» на основе оригинальных данных подробно рассмотрено изменение азотного, фосфатного и калийного режимов чернозема выщелоченного при длительном применении разных доз минеральных удобрений. Отмечено положительное влияние системы удобрений на состояние изучаемых режимов. Обращено внимание на то, что исследуемая почва содержит недостаточное для оптимального роста и развития растений количество доступного кремния.

В разделах «Мезоэлементы», «Микроэлементы» и «Ультрамикроэлементы» автором дана оценка влияния длительного применения минеральных удобрений на содержание валовых и различных по доступности растениям форм соединений мезоэлементов: кальция, магния, серы, железа, микроэлементов: бора, йода, кобальта, марганца, меди, молибдена, цинка, ванадия, селена; ультрамикроэлементов: лития, титана, никеля, хрома, кадмия, свинца. При обсуждении результатов исследований автор дает подробную характеристику всех вышеназванных химических элементов (рас-

пространение в природе, среднее валовое содержание в различных типах почв, формы нахождения в почве и т. д.),

В заключении А.Х. Шеуджен, отвечая на лозунги об отказе от применения минеральных удобрений, приводит выдержки из трактата Колумеллы «О сельском хозяйстве», в котором еще 2000 лет назад автор писал: «Удобрение ликвидирует истощение почвы и создает условия для высоких и устойчивых урожаев». При этом Асхад Хазретович задает риторический вопрос – чего мы хотим, оценивая плодородие почв? «Сохранить почву в первозданном, т.е., естественном состоянии как объект природы или поддерживать ее плодородие? Решение первой части вопроса реально при исключении антропогенного воздействия на нее, а если мы хотим использовать почвы как средство сельскохозяйственного производства, то необходимо воспроизводить ее плодородие. А это возможно лишь при высокой культуре земледелия, активной составляющей которой является экологически безопасная система удобрения».

Эта книга еще раз подтверждает актуальность вопроса о состоянии плодородия почв сельскохозяйственного использования и необходимости его воспроизводства путем применения научно обоснованной экологически безопасной системы удобрений. Она, несомненно, представляет интерес для агрохимиков, почвоведов, агроэкологов и всех исследователей, которые изучают проблему качества и здоровья почв, занимаются проблемами устойчивого, экологически безопасного земледелия.

Егоров В. С.

доктор биологических наук, профессор
кафедры агрохимии и биохимии растений
факультета почвоведения МГУ имени
М. В. Ломоносова.

Уважаемый Асхад Хазретович!

Держу, как образец, на столе вашу книгу «Агрохимия чернозема». Уверен, настала пора, Вы дали хороший пример, достижения наших славных предшественников агрохимиков, почвоведов, земледелов и др. приложить к локальным почвенно-климатическим условиям земледельческих провинций. При таком подходе многие аспекты агрономических наук получают новое звучание, более рельефно вырисовывается практическая значимость отдельных свойств почвенного покрова, элементов климата и др.

Искренне Ваш
И.Г. Юлушев,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
Вятская государственная сельскохозяйственная академия

610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133. тел. (8332) 57-43-45 E-mail – info@vgsha.info (Юлушеву)

Рецензия

на монографию члена-корреспондента РАН, доктора биологических наук, профессора А.Х.Шеуджена «Агрохимия чернозема»

Научными исследованиями, а также многолетней практикой возделывания сельскохозяйственных растений как в нашей стране, так и за рубежом, установлено, что дальнейшее повышение урожая культур невозможно без сохранения и воспроизводства плодородия почв, в первую очередь, за счет внесения удобрений, возврата почве всего того, что выносится с поля урожаем.

В книге справедливо отмечается, что современное агроэкологическое состояние почв, в первую очередь, самого ценного достояния России – черноземов - вызывает большую тревогу, поскольку их интенсивная эксплуатация в течение длительного времени без соответствующих компенсационных мер привела к их сильной антропогенной деградации.

Настоящая работа подводит итоги изучения воздействия системы удобрения сельскохозяйственных культур за три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота на агрохимические и физико-химические характеристики чернозема выщелоченного Западного Предкавказья в условиях стационарного полевого опыта кафедры агрохимии Кубанского госагроуниверситета.

Научная и практическая ценность рецензируемой монографии несомненна. На наш взгляд, она представит определенный интерес не только для ученых-агрохимиков и почвоведов, аспирантов и студентов аграрных вузов, но и практических специалистов растениеводческих хозяйств, для которых поддержание плодородия почв – поистине главное предназначение их жизни и деятельности.

Принимая во внимание вышесказанное, считаю целесообразным опубликование представленной рукописи монографии члена-корреспондента РАН, доктора биологических наук, профессора А.Х.Шеуджена «Агрохимия чернозема».

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
зав. кафедрой агрохимии МГУ им. М.В.Ломоносова
Заслуженный деятель науки Российской Федерации,
академик РАН

В.Г.Минеев



ОТЗЫВ

на монографию профессора А.Х. Шеуджена «Агрохимия чернозема»

Автор настоящей монографии - член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор А.Х.Шеуджен, отечественный ученый, широко известный своими публикациями в области агрохимии, почвоведения и экологии почвенного покрова.

Рецензируемая монография посвящена агрохимии чернозема выщелоченного Западного Предкавказья. В ней дается физико-химическая и агрохимическая характеристика почвы и анализируется тенденция их изменений в условиях агрогенеза. В частности, в книге впервые подводятся итоги изучения воздействия системы удобрения сельскохозяйственных культур за последние 33 года, включающие в себя три ротации 11-полного зерно-травяно-пропашного севооборота, в условиях стационарного полевого опыта кафедры агрохимии Кубанского госагроуниверситета.

С этой точки зрения монография обладает не только научной новизной, но и несомненной практической значимостью, давая возможность специалистам растениеводческих хозяйств Западного Предкавказья оценить масштабы изменения агрохимических и физико-химических характеристик чернозема выщелоченного под воздействием антропогенного воздействия за столь длительный срок.

Опубликование рукописи монографии А.Х.Шеуджена «Агрохимия чернозема», на наш взгляд, представит интерес не только для ученых, но и практических специалистов в области агрохимии, почвоведения, экологии почвенного покрова, а для студентов, аспирантов и соискателей ученых степеней может послужить неоценимым справочным пособием по столь многогранной и сложной теме, каковой является исследование черноземных почв, - теме, которую с присущей ему полнотой, научной скрупулезностью и одновременно - с удивительной простотой и доступностью для читателей осветил автор рецензируемой монографии.

Доктор сельскохозяйственных наук,
профессор, академик РАН
директор ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова



В.Г.Сычев

СОДЕРЖАНИЕ

ИВАН ТИМОФЕЕВИЧ ТРУБИЛИН.....	3
ВВЕДЕНИЕ	26
1 ЧЕРНОЗЕМ – НАЦИОНАЛЬНОЕ БОГАТСТВО РОССИИ.....	35
2 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	43
3 АГРОБИОХИМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	57
4 ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО	61
5 ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО	67
6 АНИОНО-КАТИОННЫЙ СОСТАВ ВОДНОЙ ВЫТЯЖКИ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО	74
7 СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ИХ СОЕДИНЕНИЙ В ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ	81
7.1 Макроэлементы.....	81
7.1.1 Азот.....	81
7.1.2 Фосфор.....	92
7.1.3 Калий	111
7.1.4 Кремний.....	122
7.2 Мезоэлементы	130
7.2.1 Кальций	130
7.2.2 Магний.....	138
7.2.3 Сера.....	144
7.2.4 Железо	152
7.3 Микроэлементы	163
7.3.1 Бор.....	163
7.3.2 Кобальт	170
7.3.3 Марганец	177
7.3.4 Медь.....	184
7.3.5 Молибден	193
7.3.6 Цинк	200
7.4 Ультрамикроэлементы	208
7.4.1 Эссенциальные ультрамикроэлементы.....	208
7.4.1.1 Ванадий.....	208
7.4.1.2 Йод	215
7.4.1.3 Селен.....	221
7.4.1.4 Литий	228
7.4.2 Неэссенциальные ультрамикроэлементы	234
7.4.2.1 Титан.....	234
7.4.2.2 Никель.....	240

7.4.2.3 Хром.....	250
7.4.2.4 Кадмий.....	257
7.4.2.5 Свинец	264
8 МИКРОФЛОРА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ	272
8.1. Микрофлора	272
8.2 Ферментативная активность	278
8.3 Интенсивность «дыхания», аммонифицирующая и нитрифицирующая способность	283
8.4 Амило-, протео- и целлюлозолитическая активности.....	286
9. АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ	291
9.1 Продуктивность севооборота	291
9.2 Окупаемость минеральных удобрений	293
9.3 Баланс биогенных элементов в системе удобрения-почва-урожай	293
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	296
Отзывы на первое издание монографии	300

Монография

Асхад Хазретович Шеуджен

АГРОБИОГЕОХИМИЯ ЧЕРНОЗЕМА

Подписано в печать 11.01.2018 г. Бумага офсетная. Формат бумаги
60×90 ¹/₁₆. Способ печати офсетный. Усл. печ. л. 19,3.

Заказ № 02. Тираж 1000.

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО «Полиграф–Юг».
г. Майкоп, ул. Пионерская, 268, т. 52-23-92

Земля – это не устаревшая женщина, нет, это – де-ва, всегда юная, красивая, всегда свежая, молодая, всегда способная быть плодородной, если только уметь лелеять ее молодость, сохранять, поддерживать ее нежную, изгнать жизнь. ... Удобрение ликвидирует истощение почвы и создает условия для высоких и устойчивых урожаев.

Колумелла, ок. 70 г. н.э.

ШЕУДЖЕН АСХАД ХАЗРЕТОВИЧ – академик Российской академии наук, доктор биологических наук, доктор наук в области агрохимии и физиологии растений Оксфордской образовательной сети, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, Республики Адыгея и Кубани, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, заслуженный работник сельскохозяйственного производства Республики Адыгея, лауреат премии им. Д.Н. Прянишникова Российской Федерации области агрохимии, Государственной премии Республики Адыгея в области науки и премии администрации Краснодарского края в области науки и образования, почетный гражданин г. Адыгейска и Теучежского района Республики Адыгея.

Окончил агрономический факультет Кубанского СХИ (1977), защитил кандидатскую (1985) и докторскую (1992) диссертации во Всероссийском научно-исследовательском институте агрохимии им. Д.Н. Прянишникова. Заведует кафедрой агрохимии в Кубанском госагроуниверситете и отделом прецизионных технологий во Всероссийском научно-исследовательском институте риса.

Руководитель 8 защищенных докторских и 29 кандидатских диссертаций, имеет 11 патентов на изобретения, автор более 1100 публикаций.

Награжден высшими наградами Республики Адыгея и Краснодарского края – медалями «Слава Адыгеи» и «За выдающийся вклад в развитие Кубани» I, II и III степени.