

Белорусский государственный университет

Клебанович Николай Васильевич

Почвы Беларуси и их плодородие

Учебное пособие
для студентов специальности 1 – 31 02 01 География
направление: 1 – 31 02 01–03 Геоинформационные системы

Минск 2017

Содержание

		Стр.
	Предисловие	3
1	Факторы почвообразования в Беларуси	4
1.1	История почвоведения в Беларуси	4
1.2	Факторы почвообразования на территории Беларуси	8
1.3	Особенности развития процессов почвообразования в Беларуси	29
2.1	Классификация и систематика почв Беларуси	34
2.2	Характеристика генетических типов почв Беларуси	39
3	Почвенное районирование Беларуси	65
4	Плодородие почв Беларуси	72
5	Химическая мелиорация почв	78
6	Питание растений	83
6.1	Химический состав растений	83
6.2	Особенности питания растений	87
6.3	Влияние внешних условий на поступление элементов питания в растения	90
7	Свойства почв Беларуси, важные для питания растений	95
7.1	Состав почв	95
7.2	Поглотительная способность почв	98
7.3	Реакция почвенной среды	101
7.4	Содержание питательных элементов в почвах	105
8	Известкование кислых почв	111
9	Минеральные удобрения	123
9.1	Классификация и свойства минеральных удобрений	123
9.2	Азотные удобрения	126
9.3	Фосфорные удобрения	129
9.4	Калийные удобрения	132
9.5	Микроудобрения	134
9.6	Комплексные удобрения	136
9.7	Технология применения удобрений	137
10	Органические и бактериальные удобрения	138
11	Система применения удобрений	143
12	Экологические проблемы земледелия	146
13	Эрозия почв Беларуси	162
14	Гидротехническая мелиорация почв	169
	Рекомендуемая литература	174

ПРЕДИСЛОВИЕ

Почвоведение – ярко выраженная экологическая наука, помогающая улучшить производство сельскохозяйственной продукции, и одновременно почва – компонент биосферы, фундамент жизни и эволюции биосферы. Очевидна прямая связь биосферы суши и педосферы: почва – итог воздействия на кору выветривания живых организмов, а собственно почвообразование – это сумма процессов, протекающих в коре выветривания под влиянием живых организмов (растения, животные, микроорганизмы, грибы).

Почвоведение является научной основой земледелия, раскрывая генезис, свойства и возможности производственного использования почв. Роль почвоведения как науки и почвы как природного ресурса существенно возрастает в современную эпоху, когда постоянно растет потребность в продуктах питания, когда человечеством принята концепция устойчивого развития, предусматривающего повышение благополучия человека, а не просто рост его благосостояния.

Данное учебное пособие предназначено в первую очередь для студентов специальности «Геоинформационные системы», в первую очередь по причине того, что основным полем деятельности будущих специалистов являются разнообразные ГИС, в первую очередь земельные информационные системы, где отдельным информационным слоем обычно присутствует слой «почвы». Для создания и эксплуатации данного покрытия используются аналоговые почвенные карты, созданные в ходе крупномасштабного почвенного обследования территории, проведенного в рамках традиционной отечественной классификации почв, поэтому изучение почв Беларуси должно реализовываться именно в соответствии с легендами крупномасштабных почвенных карт. Классификация изложена в данном издании в соответствии с такими официальными источниками, как «Номенклатурный список почв Беларуси» (Минск, 2002) и «Полевое исследование и картографирование почв БССР» (Минск, 1990).

1. ФАКТОРЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В БЕЛАРУСИ

1.1. История почвоведения в Беларуси

Важной составляющей почвенно-географического образования является изучение почвенного покрова родной страны, в которой большинству будущих специалистов придется жить и работать, применяя полученные знания и умения на практике. Почвы Беларуси изучены далеко не полностью, но к настоящему времени многочисленными исследователями выявлены основные закономерности формирования почв, разработаны классификационные подходы, изучены основные свойства, пригодность различных почв под разные виды землепользования, приемы улучшения почв, созданы крупно- и среднемасштабные почвенные карты сельскохозяйственных и лесных земель, что нашло отражение в существенном росте урожаев сельскохозяйственных культур за последние полвека, в период активного изучения почвы и воздействия на нее.

Основные результаты исследований почв Беларуси нашли свое отражение в таких фундаментальных научных трудах, как «Почвы БССР» (1952, под ред. И.С. Лупиновича, П.П. Рогового), «Почвы Белорусской ССР» (1974, под ред. Т. Н. Кулаковской, П. П. Рогового, Н.И. Смеяна), «Почвы Беларуси и их классификация в системе ФАО-WRB (2004, Т.А. Романова). Учебников для ВУЗов по почвам Беларуси долгое время не было вообще, в 1997 году появилось первое пособие «Почвы Республики Беларусь» под ред. А.И. Горбылевой, в 2007 году переизданное в дополненном виде. В этом пособии, однако, почвы Беларуси трактуются с сугубо аграрных позиций, и особенности почвенного покрова территории, что так важно с позиций географа, раскрыты недостаточно.

Примерно 7–10 тысяч лет назад на территории Беларуси были перигляциальные условия, доминировала тундра. Почвы Беларуси начали использоваться и стихийно изучаться примерно 5–6 тысяч лет назад, когда было мощное потепление и на территории Беларуси существовали лесные, а на юге даже степные ландшафты. С началом суббореального периода степь отступала на юг и вся территория покрылась лесом. Окончательно границы современных лесной, лесостепной и степной зон сформировались 2–3 тысячи лет назад и в последующий период серьезных изменений в проявлении факторов почвообразования не было.

Почвы Беларуси долгое время использовались крайне экстенсивно. Подсечно-огневая и переложная системы земледелия не требовали серьезных знаний о почве. Около тысячи лет назад появились севообороты, дифференциация способов обработки земли, использование навоза и зо-

лы. Период накопления первичных разрозненных сведений о почве был очень продолжительным, а сколько-нибудь серьезное ее научное изучение началось лишь в XIX веке, хотя докучаевский всплеск почвенной науки слабо затронул непосредственно Беларусь.

Первые сведения о почвах современной территории Беларуси содержатся в работе В. М. Севергина «Опыт минералогического землеописания Российского государства» (1820–1821 гг.).

Важнейшим событием с позиций изучения почв XIX века можно считать создание Горы-Горецкой сельскохозяйственной школы – 26 апреля 1836 года, превращенной в 1848 году в сельскохозяйственный институт. Обучение носило агрономический характер, непосредственно почвоведение не читалось, но был курс «Кадастр и люстрации земель» (96 часов), «Практикум по созданию сельскохозяйственных планов и проектов» (160 часов – второе место в учебном плане по объему).

Считается, что вся русская сельскохозяйственная наука XIX века вышла из Горы-Горецкого Земледельческого института в первую очередь благодаря работам Советова и Стебута. А. В. Советов (1826–1901 гг.), выпускник Горы-Горецкого института (1850 г.), изучал сельское хозяйство России и многих стран Европы (Германии, Голландии, Дании, Австрии и др.), заведовал кафедрой в родном институте, а в 1859 г. в Петербургском университете организовал и возглавил первую в России кафедру сельскохозяйственных технологий. Его докторская диссертация «О системах земледелия» (1867) была первой в мире работой, где систематизированы вопросы истории земледелия, показавшей не только вчерашний, но и завтрашний день земледелия. Учениками Советова были В. В. Докучаев, С. П. Кравков и другие известные почвоведы-естествоиспытатели. А.В. Советов был первым в России доктором сельскохозяйственных наук по разделу агрономия.

В эти годы в Горках работал профессор Иван Александрович Стебут (1833–1923 гг.) – основатель теории известкования почв в России, написавший фундаментальный труд «Известкование почв», где впервые на научной основе подробно проанализированы причины положительного действия извести на почву и культурные растения. Он писал: «свойства нашего климата ... представляют условия, самые благоприятные для успешного применения известкования, способствующего процессу выветривания, пополняющего содержание извести в почве, содействующего разложению органических веществ, разрыхляющего почву и мобилизующего в почве питательные вещества». Он создал в Петербурге женские сельскохозяйственные курсы («стебутовские»), из которых вырос впоследствии Ленинградский сельхозинститут. Его основные труды «Осно-

вы полевой культуры и меры по ее улучшению в России», «Настольная книга для сельских хозяев», «Полеводство» воспитали многие поколения русских агрономов. И. А. Стебуту принадлежит идея выделения в России климатических и почвенных зон, чтобы вести хозяйство в соответствии с природными условиями, он первым проводит районирование сортов сельскохозяйственных культур.

В магистерской диссертации Богдана Андреевича Телинского (1812–1886 гг.), посвященной классификации земель в фискальных целях, уже рассматривались физико-химические свойства почв, органическое вещество, способы оценки земель. Под его руководством поставлены первые опыты с удобрениями, сортами культур.

Большое значение для изучения почв территории Беларуси имели работы Западной экспедиции по осушению болот Полесья, руководимой И. И. Жилинским. За время работы экспедиции (1873–1898 гг.) были детально изучены природные условия Полесья. Особое внимание уделялось болотам и заболоченным почвам. Исследование этих почв было продолжено на Минской болотной станции, которая открылась в 1911 г. на Комаровском болоте.

Новые возможности изучения почв Беларуси появились с возрождением Горы-Горецкого сельскохозяйственного института (1919 г.), особенно когда в 1921 г. при нем была открыта кафедра почвоведения, которую возглавил Я. Н. Афанасьев (1877–1937). В 1922 году открыт институт сельского и лесного хозяйства в Минске, где кафедру почвоведения возглавлял В.Г. Касаткин, который составил первую почвенную карту части Минской губернии. Этот институт был в 1925 году объединен с Горецким и образована Белорусская сельскохозяйственная академия.

В 1933 году по инициативе Якова Никитича Афанасьева – одного из самых первых белорусских академиков, всемирно известного ученого, на которого до сих пор ссылаются в мировой литературе, открыта кафедра почвоведения в БГУ. С 1951 по 1953 год на базе этой кафедры существовало почвенное отделение в рамках почвенно-биологического факультета, выпустившее 73 почвоведов, многие из которых стали основой современной школы почвоведов Беларуси.

Первым обобщением научных исследований почв Беларуси была работа Я. Н. Афанасьева «Этюды о покровных породах Белоруссии» (1925 г.), где автор детально рассматривает вопросы генезиса, строения и распространения четвертичных отложений на территории Беларуси. Другая крупная научная монография «Основные черты почвенного лика земли» принесла автору мировую известность. Велик вклад Я. Н. Афанасье-

ва в решение таких проблем, как классификация и систематика почв, процессы почвообразования, зональность почвенного покрова и др.

Иван Степанович Лупинович (1900–1968 гг.), выпускник института сельского и лесного хозяйства в Минске. Он исполнял обязанности Президента Академии наук, был президентом академии сельскохозяйственных наук Беларуси. Иван Степанович – основатель лаборатории физики и биохимии торфяно-болотных почв в НИИ мелиорации и водного хозяйства. Важнейшие труды – «Торфяно-болотные почвы Белорусской ССР и их плодородие», «Микроэлементы в почвах БССР и эффективность микроудобрений». Его имя с 1970 года носит белорусская сельскохозяйственная библиотека.

Андрей Григорьевич Медведев (1897–1985 гг.), выпускник Горецкого сельскохозяйственного института. С 1951 г. – доктор сельскохозяйственных наук, тема диссертации – «Характеристика почвенного покрова Белорусской ССР в сельскохозяйственных целях», с 1961 года – член-корреспондент Академии наук. Он считается основателем таких отраслей почвоведения в Беларуси, как эрозия и бонитировка почв. Его основные труды: «Почвы БССР», «Почвы Белорусской ССР», «Оценка качества земель в Белорусской ССР», «Качественная оценка земель в колхозах и совхозах Белорусской ССР», «Эволюция мелиорированных почв и ее итоги».

В 1931 г. на базе почвенно-геологической комиссии и кафедры почвоведения Инбелкульта был организован Институт почвоведения и удобрений, который в 1939 г. преобразован в Институт социалистического сельского хозяйства с отделом почвоведения. НИИ почвоведения был восстановлен в 1958 г. (директор академик П. П. Роговой) и в настоящее время называется НИИ почвоведения и агрохимии НАН Беларуси (директором является академик НАН Беларуси В. В. Лапа).

В конце сороковых-начале пятидесятых годов XX в. были обобщены результаты работы белорусских почвоведов, составлена карта почв БССР (1949 г.) а также издана монография «Почвы БССР» (1952 г.) под редакцией И. С. Лупиновича и П. П. Рогового.

Результаты крупномасштабных исследований почв (1957–1963 гг.) дали толчок для развития новых направлений в белорусском почвоведении: противоэрозионной организации территории, качественной оценки почв, эволюции почв при окультуривании, мелиорации земель, агрохимии почв, активизировалось исследование почв лесов, которое было начало в 1930-е годы в Институте леса, а затем продолжено в лесотехническом институте и Белгипролесе.

Очередное подведение итогов работы белорусских почвоведов нашло отражение в монографии «Почвы Белорусской ССР (1974 г.) под редакцией Т. Н. Кулаковской, П. П. Рогового, Н.И. Смеяна; а также карте почв Белорусской ССР (М 1: 600 000).

На протяжении всей истории своего развития почвоведение непрерывно связано с агрохимией. Здесь следует назвать, прежде всего, школу агрохимиков БСХА, где агрохимическая наука развивается с момента образования учебного заведения. В последующие годы агрохимия стала занимать все большее место ввиду преобладания в стране небогатых почв, в которых в первом минимуме часто оказываются именно элементы питания. Крупнейшими представителями данного направления явились академики Кулаковская Т.Н. (1918–1986) и Богдевич И.М. (род. 1937), долгие годы возглавлявшие институт почвоведения и агрохимии – крупнейший современный центр почвоведческой науки в стране.

В настоящее время почвоведение в Беларуси развивается также в БГТУ, ГГАУ, БСХА, ряде научно-исследовательских организаций.

1.2. Факторы почвообразования на территории Беларуси

Климат на территории Беларуси – умеренно континентальный с относительно небольшими амплитудами температур, достаточным количеством осадков, неустойчивым характером погоды. Его особенности обусловлены размещением территории республики в умеренных широтах; близостью Атлантического океана; преобладанием равнинного рельефа; отсутствием крупных горных преград на путях воздушных масс на соседних с республикой территориях.

Годовой приход суммарной солнечной радиации изменяется от 3500 на севере до 4050 МДж/м² на юге. Радиационный баланс за год положительный (1500–1800 МДж/м²). Средние параметры температурных показателей постепенно повышаются с северо-востока на юго-запад.

Изменение температуры и увлажнения в пределах республики плавное, поэтому скорость процессов почвообразования протекает умеренно. Тепловой режим определяет интенсивность механических, геохимических и биологических процессов.

При замерзании и оттаивании почвы с поверхности происходит образование трещин и глыб разного размера, что содействует формированию структурных отдельностей. Минералы и породы подвергаются физическому выветриванию из-за различия их коэффициентов линейного расширения. Капиллярное давление в тонких порах и давление замерзающей воды в крупных трещинах приводит к механическому разрушению по-

род. Тающий снег вовлекает в миграцию питательные вещества с поверхности почвы, способствует линейной эрозии.

Повышенная влажность воздуха и высокая облачность приводят к выпадению значительного количества осадков. Беларусь относится к зоне достаточного увлажнения. Величина коэффициента увлажнения (отношение количества осадков к величине испаряемости) изменяется от 0,9 на крайнем юге до 1,2 на севере, а гидротермический коэффициент Селянинова (отношение количества осадков к сумме активных температур, уменьшенной в 10 раз – ГТК) за период с температурой выше 10 °С колеблется в пределах от 1,3–1,5 на юге до 1,6–1,8 на севере. Наименее обеспечены влагой песчаные почвы южной части республики.

По термическим ресурсам вегетационного периода и условиям обеспеченности его влагой территория Беларуси делится на четыре агроклиматические области (В.И. Мельник, 2004), которые отличаются параметрами агроклиматических ресурсов (сумма активных температур – от 2040 до 2480° С при продолжительности от 138 до 157 дней), поэтому перечень возделываемых культурных растений в разных частях страны отличается.

Условия увлажнения в республике приводят к формированию промывного водного режима. Повышенное увлажнение приводит к выносу за пределы почвенного профиля легко- и даже труднорастворимых соединений, так что формируется сильно кислая или кислая среда. Часть растворимого гумуса (фульвокислоты) выносятся вместе с глинистыми минералами вниз по профилю. Такие условия приводят к снижению величины ёмкости катионного обмена в почвах за счет обеднения коллоидами, формируется обедненный подзолистый горизонт.

На гидротермические условия формирования почв влияет смена сезонов года, отклонение погодных условий от нормы (смена длительного сухого или дождливого сезона в течение вегетационного периода), что часто бывает в настоящее время в республике.

Вода играет важную роль в почвообразовании на территории Беларуси. Воды влияют на формирование растительных сообществ со свойственным им количеством и составом растительного опада, а также на формирование окислительно-восстановительного режима почв.

При глубоком залегании грунтовых вод и отсутствии застоя поверхностных вод в почвенном профиле создаются аэробные условия и протекают *окислительные явления*, которые сопровождаются интенсивной минерализацией органического вещества. В таких условиях формируются автоморфные почвы, не имеющие признаков заболачивания. Автоморфные почвы всегда содержат до двух и более раз меньше гумуса по срав-

нению с полугидроморфными. Например, в автоморфных дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах Беларуси на лессовидных суглинках обычное содержание гумуса составляет 1,5–2,0%, а в глееватых и глеевых – 3,0–4,0%.

При избыточном увлажнении, обусловленном близким залеганием грунтовых вод и застоем поверхностных вод в пониженных элементах рельефа, реже при наличии водоупорных слоев, развивается болотный процесс почвообразования и формируются гидроморфные и полугидроморфные почвы. Особенностью болотного процесса почвообразования являются *анаэробные условия* и *восстановительные процессы*. В анаэробных условиях уменьшается активность окислительных процессов, что приводит к ослаблению минерализации органического вещества. На поверхности почвы накапливаются полуразложившиеся органические остатки в виде торфа, которому свойственна высокая гидрофильность и влагоемкость, а также низкая аэрация при избыточном увлажнении, ведет к дальнейшему развитию процессов заболачивания. В целом можно констатировать, что вода является основным фактором формирования морфологического облика почв Беларуси.

В условиях Беларуси *переувлажнение почв* может быть временным или постоянным. *Временное* переувлажнение обычно обусловлено понижением рельефа, что способствует сквозному промачиванию почвы в отдельные периоды года: весной в период снеготаяния, летом после обильных длительных дождей, после осенних дождей. В автоморфных песчаных почвах Полесья, например, период избыточного увлажнения полуметрового слоя почвы (влажность выше наименьшей влагоемкости) длится всего 5–6 дней, во временно избыточно увлажненных – 17–18 дней, в глееватых – 50 дней, глеевых – 56 дней (Т. С. Попова, 1977).

При временном переувлажнении в почвах развивается процесс оглеения минеральной породы, характерной особенностью которого является превращение окисного железа в закисное, более подвижное соединение, которое окрашивает горизонты почв в синий цвет. При временном избыточном увлажнении почв в них происходит периодическая смена окислительных и восстановительных условий, и соединения железа могут переходить то в окисную, то в закисную форму.

При подсыхании почвы в ней улучшается воздушный режим, а, следовательно, и преобладают окислительные явления, что ведет к образованию гидроксида железа. Присутствие гидроксидов железа проявляется в окраске почв Беларуси в виде ржавых и охристых пятен, примазок и других железистых образований – ортштейновых конкреций, прожилок,

ржавых трубочек по корневым ходам. Эти новообразования – неопровержимые свидетели временного избыточного переувлажнения почв.

При *длительном или постоянном* избыточном переувлажнении катионы закисного железа вступают в реакцию с кремнеземом и глиноземом, образуя вторичные глинистые минералы алюмоферрисиликаты. Они и придают сизую, грязно-зеленую или голубоватую окраску глеевым горизонтам почвы.

Снижение количества влаги ведет к уменьшению количества растительного опада и замедлению процессов почвообразования в целом.

В засушливые периоды вода в почве может двигаться по направлению к поверхности (выпотной водный режим), что приводит при значительной минерализации грунтовых вод к солончаковым явлениям. Такие явления на территории Беларуси проявляются локально на юге страны, особенно в поймах рек.

Однако доминирующим направлением передвижения воды в почвах Беларуси является нисходящее, что обусловлено высоким уровнем увлажненности территории и преобладанием промывного водного режима. Вода является главным агентом подзолистого процесса почвообразования, доминирующего в автоморфных почвах Беларуси. Вода прямо и косвенно (через формирование кислой реакции среды в результате выщелачивания) влияет на разрушение минеральной и органической части почвы, переносит продукты разрушения вниз по профилю. В результате таких явлений формируются обедненные и осветленные элювиальные и сравнительно более обогащенные биофильными элементами более темные иллювиальные горизонты.

Почвенная влага – важнейший фактор, определяющий условия выращивания *сельскохозяйственных культур* и обработки почвы. Вода необходима для растений в значительно большем количестве, чем другие средства питания растений. Почвенная влага, поступая в растения, является основным компонентом, участвующим в фотосинтезе. При недостатке влаги и недостаточном ее поступлении в растения резко снижается интенсивность фотосинтеза. Процесс фотосинтеза в условиях Беларуси ограничен обычно не количеством солнечной энергии, а количеством воды. Колебания год от года эффективного плодородия почв и полученных урожаев чаще всего вызываются именно несоответствием запасов влаги в почве потребностям в ней растений. Наиболее часто засухи на территории Беларуси наблюдаются в южных и юго-восточных районах.

Значение воды как фактора образования почв Беларуси столь велико, что некоторые классификации почв страны построены именно на гидрологической основе (Т. А. Романова, 2004).

Основная роль **рельефа** в почвообразовании заключается в перераспределении теплоты (солнечной радиации), влаги и растворенных в ней веществ в виде молекулярных и коллоидных растворов и твердых взвесей, а также твердых веществ (вынос и аккумуляция). В целом для рельефа территории Беларуси характерно преобладание плоских и пологоволнистых равнин и низин, которые разделяются речными долинами и грядово-холмистыми комплексами. Низинные пространства имеют слабую расчлененность (глубина не более 5 м, густота 0–0,2 км/км²), что благоприятно для использования почв. На приподнятых равнинах глубина расчленения составляет 5–10 м, а густота – 0,3–0,5 км/км², на склонах возвышенностей эти показатели возрастают соответственно до 40 м и более и до 0,5 км/км² и более.

Существуют определенные закономерности морфологических и генетических особенностей рельефа территории Беларуси, сказывающихся на процессах почвообразования и формировании почвенного покрова.

В **северной** части территории Беларуси преобладает *ледниково-аккумулятивный рельеф поозерского оледенения*. Для него характерны плоские заболоченные низины, озера, бессточные котловины, особенно на Полоцкой и Чашникской низинах, в долине Западной Двины, что способствует образованию сложных почвенных комплексов, включающих практически все типы почв, встречающихся на территории Беларуси.

Основной особенностью ледниково-аккумулятивного рельефа является большое количество краевых ледниковых возвышенностей (Городокская, Браславская, Ушачская и Витебская) и гряд (Освейская, Свирская и Свентянская), для которых характерно наличие большого количества каменных холмов, друмлинов, озовых гряд, ледниковых ложбин, озер ложбинного и эрозионного происхождения, большая завалуненность. Глубина расчленения поверхности здесь составляет 20–40 м/км², а густота 0,3–0,4 км/км², что способствует развитию водной эрозии.

Равнины Белорусского Поозерья представлены водно-ледниковыми (Заборская, Нарочанская, Лучоская, Суражская) и моренными (Шумилинская, Сенненская) равнинами с глубиной расчленения преимущественно 5–10 м/км², густотой расчленения менее 0,5 км/км².

В **центральной** части Беларуси преобладает *ледниково-аккумулятивный рельеф*, образованный *Сожским* оледенением. Здесь рельеф более древнего возраста по сравнению с северной частью республики, с большой денудационной преобразованностью, что отражается в его морфометрических и морфологических параметрах. Широко распространен грядово-холмистый рельеф с пологими вершинами, территория имеет глубокое эрозионное расчленение, а в местах залегания лессовидных по-

род много суффозионных западин («блюдец») и крупных оврагов. Для центральной части Беларуси характерны наибольшие абсолютные и относительные высоты.

Западная территория центральной части Беларуси представлена крупнейшими *ледниковыми возвышенностями* (Гродненская, Минская, Новогрудская, Волковысская, Ошмянская, Копыльская) и *равнинами* (Вороновская, Лидская, Кривичская, Столбцовская), а также *водно-ледниковыми низинами* (Любчанская, Вилейская, Скидельская). К краевым ледниковым формам рельефа приурочены высшие топографические отметки поверхности, а также наибольшие показатели глубины и густоты расчленения рельефа. По мере удаления от высших отметок уменьшается и степень расчлененности территории.

Равнины восточных районов центральной части Беларуси представлены Верхнеберезинской водно-ледниковой и Горецкой моренной, которые имеют полого-холмистую или мелко увалистую поверхность. Поверхность Горецкой моренной равнины из-за наличия лессовых отложений (мощность 10–12 м) очень сильно разрезана оврагами, балками, промоинами, которые врезаются на глубину до 20 м и более. Здесь имеется много суффозионных западин, достигающих 100 м и более в диаметре и глубины 5 м. Глубина расчленения составляет до 20 м/км², а густота – более 0,5 км/км². Типичны на востоке центральной части Беларуси водно-ледниковые равнины (Центральноберезинская, Могилевская, Славгородская и Костюковичская) с колебанием высот 2–4 м.

Низины центральной части Беларуси представлены водно-ледниковым полого-волнистым рельефом.

В целом между северной (поозерской) и центральной частями имеются существенные отличия в рельефе как по генетическим, так и по морфологическим признакам. Граница между ними выражена четко и в основном совпадает с южной границей распространения Поозерского ледника. Этот рубеж хорошо проявляется в почвенном покрове, что подчеркивает его неразрывную связь с рельефом.

В **южной части Беларуси** (Полесская низменность) преобладают *водно-ледниковые и озерно-аллювиальные низины*. Из водно-ледниковых низин выделяются Брестская, Житковичская, Озаричская, Василевичская, Хойникская. Преобладающая глубина расчленения рельефа 1–2 м/км², (в отдельных местах до 5–7 м/км²), густота расчленения редко превышает 0,2 км/км². Приподнятые участки территории имеют эоловые формы рельефа в виде отдельных холмов с котловинами выдувания или невысоких гряд, имеющих превышения 2–3 м. Понижения сильно заболочены.

Среди заболоченных и заторфованных территорий встречаются песчаные «острова».

Озерно-аллювиальные и аллювиальные низины (Наревско-Ясельдинская, Слуцко-Оресская, Верхнеприпятская, Комаринская) имеют плоский рельеф, густота расчленения менее $0,2 \text{ км/ км}^2$. Множество ложбин сильно заторфованы, а их самые низкие участки заняты небольшими озерами. Озерные котловины имеют преимущественно карстовое происхождение, округлой формы, по берегам часто образуются песчаные валы и гряды. Наиболее повышенные участки низин заняты песчаными эоловыми образованиями, пески слабо закреплены и часто перевеваются.

Водно-ледниковые равнины Полесья (Логишинская, Столинская, Лельчицкая, Малоритская), образованы преимущественно днепровским оледенением. Поверхность их плоская, в отдельных местах нарушается эоловыми образованиями. Колебания относительных высот редко превышают 3 м. Болота занимают до 50 % и более.

В рельефе Полесья выделяются *равнина Загородье и Мозырская ледниковая возвышенность*, представленные краевыми ледниковыми образованиями в виде гряд с относительными высотами до 15 м, с повышенной для Полесья густотой расчленения (до $1,0 \text{ км/ км}^2$ – Загородье и до 8 км/ км^2 на Мозырской возвышенности, которая сильно изрезана овражно-балочной сетью – до 30 штук/км²).

Важное место в почвообразовании на территории Беларуси занимает **долинный рельеф**, так как речные долины занимают значительные площади и к ним приурочены основные массивы болотных и заболоченных почв. Долины крупнейших рек имеют хорошо выработанные аккумулятивные поймы преимущественно двух уровней (Неман – четыре уровня).

Таким образом, рельеф как фактор почвообразования на территории Беларуси характеризуется большим разнообразием, однако имеется четкая закономерность в территориальном распределении типов и форм рельефа, определенная характером распределения основных рельефообразующих факторов (структурно-тектонические особенности территории, генетический тип четвертичных отложений, эндо- и экзогенные процессы). Эти закономерности рельефа отражаются и на процессах почвообразования, что позволяет использовать их при почвенно-географическом районировании территории.

Почвообразующие породы играют важную роль в формировании почв. Они являются частью твердой фазы почвы и определяют ее исходные текстурные, минеральные, химические, физико-химические, общие физические, физико-механические, водно-воздушные, тепловые параметры. Велико влияние почвообразующих пород на структуру почвенного

покрова. Почвообразующие породы страны проще делить на ледниковые (моренные, водно-ледниковые, озерно-ледниковые, лессовидные) и современные (озерные, органогенные, эоловые, аллювиальные), или, другими словами, на отложения плейстоцена, которые являются следствием пяти оледенений и разделяющих их межледниковий, и голоцена. Мощность четвертичных отложений составляет в среднем 75–80 м, с колебанием от нескольких до 325 м.

В составе четвертичных пород преобладают отложения, связанные с деятельностью ледников. Среднечетвертичные отложения, обычно Сожского оледенения, с поверхности перекрыты песчаными и супесчаными водно-ледниковыми отложениями Поозерского, а на юге – Сожского ледника. Верхнечетвертичные отложения концентрируются в Поозерье, имеют очень сложный состав (моренные, водно-ледниковые, озерно-ледниковые) и характер залегания, определяемые разными стадиями наступления ледника и межстадиальными эпохами. **Моренные** отложения севера Беларуси представлены в основном грубыми супесями и суглинками, включающими большое количество валунов, гравия и гальки. На значительной площади моренные отложения выходят на дневную поверхность и являются почвообразующими породами.

На территории Полоцкой низины встречаются **озерно-ледниковые** отложения, как песчаные, так и глинистые («ленточные глины»).

Самыми распространенными в Беларуси являются **водно-ледниковые** отложения, чаще супесчаные и песчаные, иногда суглинистые, часто подстилаемые мореной.

Белорусское Поозерье является районом максимального распространения **озерных** отложений в виде песков, песчано-гравийных образований, глин, мергелей, органо-минеральных илов и сапропелей. Их мощность может достигать 20 м и более.

Из других пород голоценового возраста следует отметить **аллювиальные** и **болотные (органогенные)** отложения. Аллювиальные отложения встречаются в виде руслового, пойменного и старичного аллювия. Русловой аллювий представлен чаще отмытым, сортированным песком, пойменный аллювий содержит иловатые песчаные и глинистые породы, а в старичном аллювии кроме минеральных отложений (песков, супесей, суглинков) встречаются органо-минеральные (сапропели, мергель) и органогенные (торф) породы.

Болотные отложения территории Беларуси представлены низинными, переходными и верховыми торфами. В их распространении имеется определенная закономерность. Основные массивы низинных торфяных болот приурочены к Белорусскому Полесью. Переходные и верховые

торфяники часто распространены в Белорусском Поозерье и на равнинах центральной части Беларуси.

Значительная часть (около 9 %) территории Беларуси занята *лѣссами* и *лѣссовидными породами*. Лѣсс – пылеватая, часто карбонатная порода суглинистого гранулометрического состава, сложного до конца не выясненного генезиса. Особенности этих пород являются: буроватая окраска, рыхлое сложение, высокая поглотительная способность, низкая водопропускная способность. Эти особенности определяются преимущественно высоким содержанием (40–70 %) крупнопылеватых (0,05–0,01 мм) частиц. У лѣссовидных пород на 10–20 % ниже содержание пыли, но они похожи на лѣссы. На этих породах образуются дерново-палево-подзолистые почвы, которые имеют более высокое естественное плодородие, большие запасы питательных веществ и лучшие водно-физические свойства среди почв дерново-подзолистого типа.

По минеральному составу почвы и почвообразующие породы имеют определенные различия как литогенного, так и педогенного происхождения. Существует явная связь минералогического состава почв с размером элементарных частиц почвы. Обычно песчаные фракции содержат кварца 65–80 %, полевых шпатов – 7–12 %, слюд и оксидов – по 3–5 %, до 6 % отдельных других минералов и не содержат глинистых минералов; пылеватые фракции содержат кварца 15–35 %, полевых шпатов – 5–12 %, слюд – 5–45 %, оксидов – 5–6 %, до 20 % глинистых минералов; в илистой фракции доминируют глинистые минералы – до 50 и более %, может быть много слюд – до 40 %, 6–8 % оксидов, 5–15 % кварца.

Уже в середине XX века были получены первые данные о минеральном составе почв Беларуси (Лупинович И.С., Самодуров П.С., 1952). В лѣссовых отложениях Минской возвышенности фракции более 0,01 мм содержали 75–86 % кварца, 1–6 % слюд, 5–14 % полевых шпатов, 1 % глауконита, 2 % халцедона, на Оршано-Могилевском плато – 73–83, 1–7, 4–8, 1, 3 соответственно, на Мозырской возвышенности – 77–95, 1–3, 4–14, 1, 1. Вновь образованных (почвенных) минералов, как правило, не было, иногда в крупной пыли 1–2 %.

Номенклатура и классификация глинистых минералов неоднозначна. Чаще всего выделяют три основные группы глинистых минералов: каолинит, монтмориллонит и гидрослюды. Особняком стоит аллофан – совокупность аморфных глинистых минералов, с ЕКО до 70 смоль (+)/кг. Применительно к почвам Беларуси логично рассматривать глинистые минералы 5 главных групп, кроме трех указанных еще вермикулит и хлорит.

В основе строения глинистых минералов лежат кремне-кислородные тетраэдры и кислород-гидроксил-алюминиевые октаэдры. Тетраэдр состоит из атома кремния, который окружают 4 атома кислорода. В октаэдрах атомы алюминия или магния окружены 6 атомами кислорода или группами ОН. Диоктаэдрическими называют минералы, если в октаэдрах заселены катионами 2/3 всех возможных позиций (монтмориллонит, бейделлит, нонтронит, галлуазит, иллит) или, иными словами, когда определяющий ион – алюминий. Если катионы занимают все возможные позиции, когда октаэдры образует магний – минералы триоктаэдрические (биотит, вермикулит, часть хлоритов).

Основные минералы группы *каолинита* – каолинит, накрит, галлуазит, диккит. Минералы этой группы являются гидратированными силикатами с вариабельностью в строении и гидратированности. Состоят из слоя октаэдров и слоя тетраэдров. Каолинит образуется из полевых шпатов, слюд и других минералов, ЕКО не более 25 смоль (+)/кг. В почвах Беларуси его мало, в основном в элювиальных слоях. Галлуазит состоит из каолинитовых слоев, разделенных слоями воды, которой содержится до 6–8 % против 0,5–1,0 % в каолините. ЕКО 40–60 смоль (+)/кг. Диккит состоит из двух слоев каолинитового типа, накрит – из шести слоев.

Слюды – мусковит, флогопит, биотит, парагонит. Обычно считаются первичными минералами.

Гидрослюды – совокупность слюдоподобных глинистых минералов. Состоят из двух тетраэдрических и одного октаэдрического слоя, соединенных общими атомами кислорода. В отличие от монтмориллонита часть атомов кремния, обычно 1/4, замещена алюминием, а избыточный отрицательный заряд компенсируется калием, который оказывается в гексагональных пустотах кислородного слоя. В гидрослюдах по сравнению со слюдами лишь 1/6 часть кремния замещена алюминием. ЕКО 40–60 смоль (+)/кг, иногда выше.

Иллит – группа минералов, переходных от каолинита к слюдам.

Монтмориллонит (сметит) – водный алюмосиликат с отношением кремнезема к полуторным оксидам, равным 4, и незначительным содержанием щелочных и щелочно-земельных катионов. Он близок к слюдам, но слабее связи между слоями и характерна гидратация, часто сильная. Это – самый мелкодисперсный из глинистых минералов. *Бейделлит* – отличается от монтмориллонита изоморфным замещением части кремния в тетраэдрах на алюминий, поэтому отношение кремния к алюминию снижается с 4 до 3. Встречается в аллювиальных почвах Беларуси.

Хлорит – группа зеленых водных силикатов, правильное чередование биотитовых и бруситовых слоев. Тип их структуры часто называют 2:1:1.

Основной вид замещений – алюминия на кремний, частично компенсируемый заменой алюминия или железа на магний. Он не раздвигается молекулами воды и катионы промежуточных слоев не являются обменными. ЕКО 10–40 смоль (+)/кг.

Вермикулит – похож на слюду, имеет нестабильный химический состав. Изоморфные замещения происходят в основном в тетраэдрических слоях отрицательный заряд накапливается на поверхности. Слои вермикулита раздвигаются молекулами воды, но расширение не превышает 4,98 Å, что соответствует толщине двух слоев воды

Часть глины представлена смешаннослойными минералами с регулярным или нерегулярным чередованием слоев разных минералов.

Бурые лесные почвы отличаются вермикулитизацией гидрослюды и слабым изменением заряда решетки – от +0,75 у иллита до +0,66 у вермикулита. Преобладающим материалом или материнских пород являются диоктаэдрические гидрослюды (70–80 %), каолинит, вермикулит, хлорит содержатся в количествах 4–9 % каждый.

В дерново-подзолистых почвах преобладающей в илистой фракции является гидрослюда (63–77 %) и каолинит (16–25 %) при незначительной доле вермикулита (5–8 %) и хлорита (3–5 %). В них – максимальная трансформация глинистого компонента, содержится больше всего вермикулита с понижением заряда решетки до +0,33, без видимых признаков хлоритизации, чему способствует высокая кислотность и промывной водный режим.

В дерново-подзолистых заболоченных почвах по сравнению с автоморфными снижается активность преобразования почвенных минералов, возрастает роль каолинита при значительном преобладании гидрослюды, особенно в оглеенных горизонтах. В глееватых и глеевых почвах появляется заметное количество монтмориллонита, отсутствующего в менее влажных почвах.

В дерновых заболоченных почвах благодаря восстановительным условиям среды, высокой насыщенности основаниями активно идет процесс преобразования гидрослюды в вермикулит и монтмориллонит.

Характерной чертой минерального состава почв Беларуси можно считать соотношение минералов с расширяющейся решеткой (сметита + вермикулита) к гидрослюдам, называемое коэффициентом лабилизации.

Оно изменяется в гумусовом горизонте от 0,5 в автоморфных почвах до 3 в подзолах и 2,5 в глейсолях. В иллювиальных горизонтах коэффициент лабилизации изменяется от 0,24 до 0,36 во временно избыточно увлажненных почвах, 0,39–0,45 – в глееватых до 0,63–1,02 в глеевых почвах, то есть является своеобразным диагностическим признаком степени

гидроморфизма дерново-подзолистых заболоченных почв. В породе этот показатель снижается до 0,1 и менее, тогда как в глеевых горизонтах дерновых заболоченных почв возрастает до 5, в A_2 подзола – до 2, падая в Bh до 0,7. В целом низкую долю минералов с расширяющейся решеткой (смектита + вермикулита) можно считать исходной характерной особенностью ледниковых отложений Беларуси.

Наибольшему преобразованию в ходе педогенеза на территории Беларуси подвергся слюдястый компонент. Изначально он составляет около 10 % крупных и 80–90 % тонкодисперсных фракций. Именно слюды, являясь малоустойчивым компонентом, дают начало многим вторичным минералам и обогащают почвенными растворами элементами питания. Основным направлением трансформации биотита является его вермикулитизация с двумя промежуточными фазами: слюдовермикулитовые и хлорит-вермикулитовые образования. Биотит выветривается легче мусковита вследствие окисления Fe^{+2} до Fe^{+3} в октаэдрических позициях, что приводит к нарушению всех связей в кристаллической решетке. Небольшая часть биотита в ходе педогенеза трансформируется в каолинит.

При доминировании процессов деградации минералов в большинстве почв имеют место, особенно в окультуренных почвах, и процессы агрегации, связанные с фиксацией калия почвенными минералами. При высокой концентрации калия в почвенном растворе он фиксируется вермикулитом, слои сжимаются и образуются диоктаэдрические гидрослюды.

Биологический фактор почвообразования способствует формированию гумуса, торфа почвы, содействует рыхлению и оструктуриванию. В почвообразовании участвуют три группы организмов: зеленые растения и водоросли – первичные продуценты органического вещества; животные – консументы, потребители органического вещества; микроорганизмы – редуценты, трансформаторы органического вещества в гумус или торф в зависимости от условий увлажнения. Благодаря живым организмам реализуется синтез и разрушение органического вещества и минеральной части почвы.

Для почвообразования особенно важны: состав растительности, особенности поступления в почву органического вещества, характер его разложения, биохимический состав и особенности взаимодействия продуктов разложения с минеральной частью почвы.

Степень участия зеленых растений в почвообразовании зависит от типа растительности и интенсивности биологического круговорота. В Беларуси ежегодный прирост фитомассы составляет от 9 до 22 т/га в лесах, от 7 до 16 т/га на лугах и от 8 до 15 т/га на сельскохозяйственных землях. Ежегодный опад фитомассы соответственно колеблется в пределах 3–8

т/га, 4–12 и 2,5–6 т/га. В период роста и развития растительность аккумулирует химические элементы, часть из них (ежегодный опад) возвращается в почву и является основой формирования гумуса.

Почвы под хвойными лесами при малой гумусированности содержат больше фульвокислот и низкомолекулярных соединений, так как опад содержит много лигнина, смол и других трудноминерализуемых соединений. В почвах под луговой растительностью содержится больше высокомолекулярных органических соединений, много гуминовых кислот.

Среди растительных сообществ в Беларуси преобладают ассоциации сосновых лесов с низкой зольностью фитомассы (1–2 %) и растительного опада, что уменьшает образование гумуса в дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах (содержание гумуса – 1–2 %). По площади им уступают березняки, ельники, осинники, дубравы, ольшаники, имеющие более высокую зольность фитомассы (2–4 %), опад которой служит накоплению большего количества гумуса (2–6 %). Многолетняя растительность удерживает до 96 % общей фитомассы.

Наиболее интенсивно протекает биологический круговорот в луговых сообществах, что способствует накоплению химических элементов. В почвах на болотных лугах аккумулируется торф и формируются торфяно-болотные почвы.

Между видовым составом растительности и генетическими особенностями почв существует закономерная связь, однако установить ее не просто. В основном состав растительности в условиях Беларуси обусловлен увлажнением почв и, в меньшей степени, богатством почвообразующих пород элементами питания. По видовому составу произрастающей растительности можно судить о некоторых физико-химических свойствах почв, а также о характере и степени их увлажнения. На основании этого составлен перечень растений, являющихся индикаторами различных почвенных условий: обеспеченность питательными веществами, кислотность, содержание отдельных химических элементов, характер водного питания, тип и степень увлажнения и т. д. (Т. А. Романова, 2004).

По отношению к содержанию питательных веществ в почве растения подразделяются на *олиготрофы*, приспособившиеся к бедным почвам (вереск обыкновенный, кошачья лапка, белоус торчащий, сфагновые мхи и др.); *мезотрофы*, развивающиеся на почвах среднего уровня обеспеченности питательными веществами (ландыш, костяника, адонис весенний, вероника дубравная, майник двулистный и др.); *эвтрофы*, требующие высокоплодородных почв (крапива, одуванчик лекарственный, сныть обыкновенная, пролеска, малина обыкновенная и др.). Выделяются также растения *кальцефилы*, произрастающие на почвах, насыщенных

кальцием (люцерна хмелевидная, полевица белая, клевер земляничный и др.), *нитрофилы*, растущие на почвах, насыщенных азотом (осот огородный, ежа сборная, крапива двудомная и др.).

При агрохимическом обследовании почв особое внимание должно уделяться растениям-индикаторам реакции среды почв. Индикаторами щелочных почв ($\text{pH} > 7,0$) являются мать и мачеха обыкновенная, горчица полевая, подлесник европейский, очиток едкий, тимopheевка луговая, осока мохнатая, печеночница благородная и др.; нейтральных почв и близких к ним ($\text{pH} 6,5-7,0$) – трясунка средняя, осока просяная, овсяница луговая, черноголовка обыкновенная, астрагал датский и др.; слабокислых почв ($\text{pH} 5,5-6,0$) – лютик едкий, щучка, погребок большой, гравилат речной, подмаренник болотный и др.; повышенной кислотности ($\text{pH} < 5,5$) – ожика многоцветковая, полевица собачья, осока собачья, вейник ланцетный, погребок малый, хвощ полевой, кукушкин лен, пикульник (зябра) и др.

По отношению к содержанию влаги в почвах Беларуси встречаются и гигрофиты (сабельник болотный, лютик ползучий, хвощ топяной, голубика, багульник, клюква, осока бутыльчатая, калужница болотная и др.), и мезофиты (черника, брусника, овсяница красная, подмаренник северный, мхи гипновые, вороний глаз и др.), и ксерофиты (чабрец, олений мох, тонконог сизый, тмин песчаный, букашник, очиток едкий и др.).

При описании лесной растительности учитывается, что сосновые леса, особенно бор-беломошник, предпочитают песчаные и хрящеватые сухие почвы. Еловые леса чаще приурочены к заболоченным почвам тяжелого гранулометрического состава. Дуб хорошо себя чувствует на карбонатных почвах с близким уровнем грунтовых вод. Ольха, ива приурочены к заболоченным почвам.

На почвах нормального увлажнения обычны такие травянистые растения как овсяницы, ракитник русский, луговой василек, клевер красный, мышиный горошек, полевица тонкая, душистый колосок. В напочвенном покрове лесной растительности обычны вейгертнерия, овсяница овечья, лишайники, чабрец, кислица, ясменник, медуница, ветреница, земляника, мох Шребера. На почвах с контактным оглеением появляются мхи (дикранум, политрихум), марьянник дубравный, вейник лесной, вереск, брусника, зеленые мхи (птилиум, хилакомиум, климациум). На бурых лесных почвах часты неморальные виды трав: перловник поникающий, пролеска, подлесник европейский, чина весенняя, лапчатка белая, осока пальчатая.

На дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных почвах обычны зверобой, икотник, букашник, коровяки, тимopheевка луговая, ежа сборная, бухарник, гребенник, трясунка, короставник, нивяник, кле-

вера красный и ползучий. В лесах часты мох Шребера, дикранум, политрихум, черника, толокнянка, козлобородник, костяника, орляк, майник, хвощ лесной, вороний глаз, щучка, марьянник, сныть, ландыш.

На дерново-подзолистых глееватых почвах часто встречаются белоус, полевица тонкая, щучка, лютик едкий и ползучий, короставник, молиния, мох Шребера, дикранум, политрихум, грушанки, кочедыжник, купена, копытень, крапива, сныть, гравилат, хвощ болотный, вербейник, чина, ятрышник, сивец луговой, мятлик, гребенник, подорожник, раковые шейки, хвощ луговой, осоки: лисья, мохнатая, просяная.

На дерново-глеевых почвах обычны полевицы белая и побегообразующая, вейник ланцетный и незамечаемый, манник, ситник, калужница болотная, осоки обыкновенная, желтая, мохнатая, просяная и сероватая, щучка, гипновые мхи, таволга, ирис-касатик, камыш лесной, белокрыльник, щитовник. В лесах на дерново-подзолистых глеевых почвах типичны политрихум, черника, багульник, сфагнум, орляк, кочедыжник, ожика волосистая, хвощ лесной.

На торфяно-болотных почвах доминируют осоки (волосистоплодная, пузарчатая, дернистая), часто встречается кипрей болотный, пушица, частуха, багульник, вахта, голубика, подбел, сфагнум, пушица одноколосковая, гипновые мхи.

Несмотря на то, что отдельные виды растений встречаются в разных группах почв по увлажнению, амплитуда колебаний достаточно предсказуема. Состав растений напочвенного покрова может сильно меняться по времени года. Так, весной может доминировать ветреница дубравная, а к концу лета – кислица. В годы с влажной весной и в лесах, и на лугах много бобовых. Состав напочвенного покрова может меняться при осушении прилегающей территории, под влиянием перевыпаса скота. Между соседними растительными ассоциациями обычно существует переходная полоса шириной 1, 2 или более метров, так называемый экотон, где растительность непостоянна: во влажные периоды влаголюбивая растительность появляется в более сухих местах и наоборот. Своей почвы экотон не имеет.

Почвы под сельскохозяйственными культурами (агроландшафты) ежегодно получают сравнительно мало растительных остатков. Значительная масса органического вещества и химических элементов (200–400 кг/га) выносится с урожаем. Для обеспечения положительного баланса питательных элементов в агроландшафтах необходимо внесение органических и минеральных удобрений. Включение в севооборот многолетних трав увеличивает количество гумуса и улучшает его состав.

Водоросли – автотрофные организмы, они имеют хлорофилл, способны к фотосинтезу. Их фитомасса увеличивается на почвах с избыточным увлажнением и может достигать максимальной величины при температуре 25–35° С – до 1500 кг/га. Обилие водорослей свидетельствует о хорошей обеспеченности элементами питания. Сине-зеленые водоросли способны фиксировать молекулярный азот, диатомовые участвуют в разложении минеральных соединений. В болотных почвах водоросли обогащают воду кислородом и улучшают условия развития растений.

Лишайники относятся к симбиотическим организмам, состоят из двух составных частей – гриба и водоросли. Их вклад в почвообразование в Беларуси был особенно велик в начале голоцена при превращении горной породы в мелкозем и начальном почвообразовании. Они могут существовать в неблагоприятных температурных и сухих условиях, поглощая влагу из атмосферы. В лишайниках растворимая органика составляет половину сухой массы и отличается высокой кислотностью. Она аккумулирует до 50 кг/га зольных веществ.

Населяющие почву представители *животного мира* оказывают влияние на разложение в почве растительных остатков, образование и минерализацию гумуса, реакцию среды и динамику элементов питания растений. Важную биохимическую роль в почве играют многоклеточные беспозвоночные животные, общий вес которых достигает 15 ц на гектар. Общие запасы зоомассы по отношению к фитомассе составляют не более 1–2 %. Животные создают и разрушают органическое вещество, повышают ферментативную активность почв, ускоряют темп биологического круговорота веществ. Видовой состав и численность почвенной фауны являются в известной мере показателем типов и свойств почв и могут служить индикатором их плодородия.

Дождевые черви разрыхляют почву, улучшая ее аэрацию, перерабатывают растительные остатки, выделяют копролиты – органоминеральные структурные водопрочные комки. Особенно много копролитов в дерновых заболоченных почвах.

Заметную роль в жизни почвы играют землерои, особенно кроты. Выбросы крота могут занимать до 50 % площади отдельных участков и составлять до 50 т/га. Обычно на поверхность почвы животные выбрасывают материал более глубоких горизонтов А₂, А₂В, В. Внесение веществ животными в верхний горизонт белорусских почв часто превышает поступление аналогичных элементов с остатками растений (с опадом). В перемещении почвенных масс могут принимать активное участие такие животные, как кабаны. Так, установлено, что кабаны существенно (до 2 раз)

уменьшают радиоактивность верхнего слоя, "припахав" к верхнему слою незагрязненный нижний слой почвы.

Микроорганизмы по свойствам полифункциональны в биохимическом отношении и способны осуществлять в почвах процессы, которые недоступны растениям и животным, но которые являются существенной частью биологического круговорота энергии и веществ. Таковы процессы фиксации азота, окисления аммиака и сероводорода, восстановление серноокислых и азотноокислых солей, осаждение солей железа и марганца, микробный синтез гумуса и его минерализация, некоторых витаминов, энзим, аминокислот, антибиотиков и других физиологически активных соединений. Они являются самыми древними почвообразователями, так как появились задолго до начала развития растительного и животного царства.

Важной особенностью микроорганизмов в почве является их способность доводить процессы разложения растительного и животного органического вещества до полной минерализации, т. е. быть санитарами почв и биосферы в целом. В этом заключается принципиальное различие между ролью в биосфере микроорганизмов и ролью растений и животных. Микроорганизмы распространены по всему профилю почв, однако основная масса их сконцентрирована в гумусовом горизонте. Общий вес сырой массы различных микроорганизмов может составлять в верхнем 25-сантиметровом слое до 10 т / га. В составе гумуса их масса достигает 2,5 %. В 1 г почвы численность их в Беларуси обычно составляет десятки или сотни миллионов экземпляров.

Микробиомасса на 6 порядков меньше биозоомассы, однако высокая скорость размножения (смена поколения несколько раз в течение суток) микроорганизмов позволяет оценить их деятельность в почве и биосфере как эквивалентную деятельности растений или превышающей ее.

В почвообразовании наиболее активную роль играют бактерии, грибы и актиномицеты.

Бактерии представляют наиболее многочисленную и наиболее разнообразную группу одноклеточных организмов размером 0,5–2 мк. В составе сухого вещества бактерий содержится 5–15 % золы, в составе которой встречаются все химические элементы. В клетках бактерий содержатся разнообразные ферменты, которые необходимы для протекания специфических биохимических реакций. Сильнокислые почвы, малое количество гумуса, низкие температуры и отсутствие влаги снижают рост и активность бактерий. Почвенные бактерии делятся на две группы по условиям питания: автотрофные и гетеротрофные. Автотрофы используют углерод из CO_2 и минеральные соединения неорганических веществ, ге-

теротрофы – нуждаются в восстановленных соединениях углерода и усваивают органические соединения. Основная работа бактерий – синтез и разрушение органического вещества.

Грибы в почве представлены обширной группой нитевидных одноклеточных и многоклеточных гетеротрофных микроорганизмов. Они наиболее распространены в лесной подстилке, кислых и влажных почвах, занимая нишу, свободную от бактерий. Их размеры составляют 2–10 мк, содержание золы – около 5 %, в клеточную оболочку входят некоторые полисахариды, хитин и липоиды. Грибы могут разлагать стойкие органические соединения и окисляют органическое вещество до CO_2 и H_2O . Под пологом леса при разложении органических остатков грибы способствуют образованию агрессивных фульвокислот, которые участвуют в процессе подзолообразования. Часто грибы выделяют токсические соединения, которые убивают определенные группы бактерий. Последовательный процесс разложения органического вещества выполняется разными группами грибов, сменяющими друг друга.

Актиномицеты рассматриваются как организмы, переходные между бактериями и грибами. Это типичные организмы – гетеротрофы. Актиномицеты придают почве запах свежераспаханной земли. Однако их биохимическая деятельность ограничена внешними условиями и они наиболее активно действуют в нейтральной среде и при температуре 25–30 °С. Некоторые из них выделяют в почвенную среду антибиотики, которые подавляют развитие болезнетворных микробов и способствуют нормальному развитию полезных микроорганизмов.

Время как фактор почвообразования оказывает существенное влияние на состояние почвы ввиду длительности процесса формирования полностью развитой почвы.

Под влиянием ритмических изменений факторов почвообразования (суточных, годовых, вековых) почва проходит соответствующие циклы эволюции. По завершении каждого из этих циклов почва возвращается не в исходную точку, а в несколько иное состояние, постепенно изменяясь при неизменности определенного времени условий почвообразования. В условиях Беларуси, например, происходит постепенное оподзоливание почвы на карбонатной породе или заболачивание дерново-подзолистой почвы вследствие развития уплотненного иллювиального горизонта.

Причиной становления и развития новых процессов могут быть эпейрогенические, геоморфологические и климатические изменения. В течение послеледникового периода в Беларуси происходило превращение части широких пойм в надпойменные террасы с отрывом почвенного профиля от грунтовых вод.

Почвы Беларуси, сформировавшиеся на моренных отложениях, обычно имеют возраст не более 11 тыс. лет. Древние почвы разрушены ледником. Процесс почвообразования мог идти синхронно с формированием наносов, как это имеет место в настоящее время в поймах рек.

В республике встречаются более древние «погребенные» почвы. Однако они изучены недостаточно.

О возрасте почв в некоторых случаях можно судить по их положению в рельефе. Это относится к почвам речных долин Беларуси. Известно, что на ранней стадии развития каждая терраса представляла собой пойму, поверхность которой испытывала периодическое затопление. С течением времени в связи с понижением базиса эрозии реки или медленными эпейрогеническими движениями повышенная часть поймы превращается в надпойменную террасу. Если река переживает несколько циклов развития, то она приобретает серию надпойменных террас. Самыми древними из них будут наиболее высокие террасы. Возраст почв водоразделов будет еще более древним.

Об истории развития современной почвы можно судить по реликтовым признакам, которыми являются все свойства современной почвы, которые не соответствуют современным условиям почвообразования. Например, железисто-марганцевые конкреции в хорошо аэрируемых почвах; запасы гумуса, не соответствующие современной продуктивности фитоценозов; фракционный состав гумуса, не соответствующий современным почвенным процессам; наличие железистых, карбонатных и других аккумулятивных горизонтов, где современными процессами такие аккумуляции создаваться не могут и др.

К единичным остаточным реликтовым признакам относятся валуны, остатки фауны и флоры. Реликтовыми горизонтами могут быть карбонатный, гумусовый, железистых отложений и др. Для почв водно-ледниковых равнин Предполесья могут быть характерны признаки палеогидроморфизма, обусловленные значительно более высокой обводненностью этих равнин водами таявших ледников.

При изменении климата многие свойства почв долгое время остаются без изменений и по ним можно судить о предшествующих условиях. К таким свойствам относится, например, наличие торфяной прослойки или горизонта, сформировавшегося в условиях похолодания и увлажнения (при доминировании тундры), присутствие второго гумусового горизонта в дерново-подзолистых почвах со свойствами гумуса более близкими к условиям существования широколиственных лесов или степи, которые встречаются в восточной Беларуси.

Таким образом, почва живет в суточных, годовых, многолетних и вековых гидротермических ритмах. В соответствии с ними изменяется скорость и возможно направление почвенных процессов. Во влажные и теплые периоды активизируются процессы синтеза и разложения органического вещества, ускоряется разрушение первичных минералов. Во влажные и холодные периоды все процессы замедляются, господствуют восстановительные условия. В сухие и теплые периоды в профиле почв накапливаются легкорастворимые соединения.

В современных условиях влияние человека (**антропогенный фактор**) на почву многостороннее. При обработке, мелиорации, внесении удобрений и ядохимикатов, а также других видов хозяйственной деятельности происходит изменение строения естественного профиля почв, их физических и агрохимических свойств. Значительные площади почв используются для выращивания сельскохозяйственных культур, часть почв разрушается и изымается из природного цикла развития при строительстве различных объектов и дорог, при открытой добыче строительных полезных ископаемых, занимается под свалки бытовых и промышленных отходов.

Почвы сельскохозяйственного назначения претерпевают существенную трансформацию (агротехногенез), в которой имеют место положительные и отрицательные моменты. Развивается культурный процесс почвообразования, изменяются свойства почвы. Сущностью этого процесса является создание мощного, богатого гумусом, биологически активного и структурного гумусового слоя с благоприятным для культурных растений тепловым, водно-воздушным и питательным режимом. Если не считать специальных мелиоративных приемов (осушение, орошение), основными антропогенными факторами воздействия на почву на всех этапах культурного почвообразования являются смена сельскохозяйственных растений в севообороте, механическая обработка почвы, внесение удобрений, мелиорантов и пестицидов.

Влияние культурных растений на почву приводит к изменению свойств почв. Корневая система, особенно многолетних трав, изменяет структуру и сложение почвы. Растения стимулируют развитие и активность почвенной микрофлоры. Корневые выделения и отмирающие части растений служат главным источником питательных веществ и энергии для большей части почвенных микроорганизмов. Под всеми видами растений снижается диаметр глыбистых структур (диаметр более 10 мм) и увеличивается количество полезных в агрономическом отношении комковатых и зернистых агрегатов (диаметр 3,0–0,25 мм). Структура комков становится более водопрочной благодаря выделению слизистых и клею-

щих продуктов жизнедеятельности ризосферных микроорганизмов. Корни снижают плотность почвы, увеличивают порозность, что приводит к улучшению водно-физических свойств. Усиливается выветривание минеральной части почвы, освобождаются элементы питания для растений. Однако в ходе обработки почвы положительные качества их свойств могут ослабляться.

Сельскохозяйственные культуры изменяют биологический круговорот веществ в отличие от круговорота естественных почв. Ежегодно или через несколько лет изменяется биомасса и количество химических элементов, участвующих в круговороте. При выращивании корнеплодов в почву поступает 18–35 ц/га растительных остатков, кукурузы – 50–80, с пожнивными остатками зерновых – 30–55, с корневыми и послеуборочными остатками многолетних трав в почве их остается 50–120 ц/га.

При средней зольности культурных растений около 5 % и содержании азота около 1,3 % в биологический круговорот вовлекается от 360 до 2500 кг/га химических элементов. С урожаем в условиях Беларуси выносятся из пахотной почвы и исключаются из биологического круговорота (в среднем за 2001–2010 гг.) 70 кг/га азота, 27 кг/га фосфора, 74 кг/га калия, 60 кг/га кальция и магния, 50 кг/га серы. Средние потери от выщелачивания и эрозии составляют 10 кг/га азота, 10 кг/га калия, 87 кг/га кальция и магния.

В агроценозах в биологический круговорот ежегодно вовлекается больше органического вещества и химических элементов, чем в лесных сообществах, то есть круговорот элементов в агроценозах некомпенсирован в большей степени. Растительные остатки агроценозов Беларуси за счет высокой зольности мало способствуют образованию агрессивных фульвокислот и развитию подзолистого процесса.

Влияние механической обработки на почву в агроценозах разностороннее. При вспашке гумусовый горизонт перемешивается с подгумусовыми, образуется новый горизонт – пахотный (A_n), в нем усредняется содержание гумуса, плотность сложения, повышается порозность и аэрация, улучшаются водный, воздушный и тепловой режимы. Механическая обработка, регулируя водно-воздушный режим, повышает биологическую активность, улучшает пищевой режим.

Обработка почвы частично разрушает структуру и в то же время образует новые структурные агрегаты в результате крошения глыб орудиями труда. Механическая обработка сухой почвы разрушает структуру почвы. При обработке увлажненной почвы в «спелом состоянии» образование почвенных агрегатов преобладает над разрушением.

В почву вносят *органические, известковые и минеральные удобрения*. Органические удобрения пополняют запасы гумуса, улучшают структуру почвы, улучшают питание растений рядом макро- и микроэлементов. Известковые мелиоранты, а в Беларуси это в основном доломитовая мука, улучшают реакцию почвенной среды, насыщают обменный комплекс почв кальцием и магнием. Минеральные удобрения обеспечивают культурные растения питательными элементами, одновременно пополняя их запасы в почве. Для борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур человек разработал широкий спектр *пестицидов*.

Применение разнообразных средств химизации при всем их огромном позитивном экологическом значении может иметь и отрицательные последствия. С органическими удобрениями, особенно при применении жидкого навоза, могут поступать в избыточном количестве нитратный азот, тяжелые металлы, органические загрязнители. Большинство форм минеральных удобрений являются физиологически кислыми и могут подкислить почву.

Осушение торфяно-болотных почв с понижением уровня грунтовых вод ниже одного метра делает их экологически неустойчивыми. Со временем в почвах уменьшается влагоемкость, усиливается кислотность, активизируется минерализация торфа, уменьшается плодородие.

Антропогенный фактор может иметь и выраженное отрицательное действие на почвы. При физическом, химическом, радиоактивном загрязнении, подтоплении происходят процессы деградации почв, а при отчуждении под строительство зданий, дорог – полное уничтожение.

1.3. Особенности развития процессов почвообразования в Беларуси

В почвах Беларуси протекают как *простейшие* почвенные микропроцессы, не оставляющие в почвах в данный момент заметных морфологически выраженных признаков (разложение органических остатков и синтез гумусовых веществ; подкисление почвенных растворов органическими кислотами, и их нейтрализация при обменных реакциях водорода; разрушение первичных и синтез вторичных минералов и многие другие), так и более сложные *элементарные почвенные процессы* (ЭПП) – конкретные явления, механизмы и процессы, приводящие к образованию того или иного признака почвы, и *общие* почвообразовательные процессы, ведущие к формированию определенных типов почв.

При рассмотрении конкретного почвенного профиля внимание обычно концентрируется на двух-трех ведущих элементарных почвообразователь-

ных процессах, которые формируют тип (подтип) почвы и поддерживают его в равновесии с окружающими внешними факторами.

Среди **биогенно-аккумулятивных ЭПП**, связанных с преобразованием органических веществ в Беларуси наиболее проявляются такие ЭПП, как:

подстилкообразование – процессы формирования на поверхности почвы органического слоя мертвого органического вещества лесной подстилки, постепенно подвергающегося минерализации и гумификации, находящегося по вертикальным слоям на разных стадиях разложения;

гумусообразование – процессы разложения растительных остатков на месте их отмирания и последующего накопления гумуса, то есть сложного комплекса высокомолекулярных азотосодержащих органических соединений, образовавшихся при разложении и гумификации растительных остатков;

торфообразование – процесс накопления медленно гумифицирующихся и почти не минерализующихся растительных остатков, протекающий в анаэробной среде при избыточном увлажнении;

дерновый процесс – накопление гумуса, азота, зольных элементов и приобретение почвой комковато-зернистой структуры и благоприятных физических свойств под воздействием преимущественно травянистой растительности и сопутствующей ей разнообразной биоты.

В почвах Беларуси проявляются разнообразные **гидрогенно-аккумулятивные ЭПП**, основными из которых являются:

засоление – аккумуляция растворенных солей, обычно в результате восходящих токов минерализованных грунтовых вод с последующей эвапотранспирацией или, реже, особенно в районе Солигорска, вторичное антропогенное засоление;

оруденение – гидрогенная аккумуляция железа и марганца разной степени гидратации с образованием болотной руды, рудяка, ортштейна;

олуговение – аккумулятивный процесс воздействия пресных грунтовых вод при хорошем дренаже без заболачивания, то есть дерновый процесс при переувлажнении и хорошем дренаже;

кольматаж – накопление на поверхности почвы и в порах верхних слоев наилка при затоплении мутной водой в результате поемного природного процесса.

В Беларуси проявляется ряд **метаморфических ЭПП**:

оглинивание (синонимы – сиаллитизация, оглинение, метаморфизация, внутрипочвенное выветривание, неосинтез глин) – образование вторичных глинистых минералов типа гидрослюд, каолинита, вермикулита, аллофана и других, составляющих илистую фракцию почв;

ожелезнение – процесс высвобождения железа из решеток минералов при выветривании и осаждение по трещинам и порам с побурением (покрашением) породы; наблюдается практически во всех автоморфных и полугидроморфных почвах Беларуси, кроме дерново-карбонатных;

оглеение – метаморфическое преобразование минеральной почвенной массы при постоянном или длительном переувлажнении почвы с интенсивным развитием восстановительных процессов при активном участии разнообразных анаэробных бактерий, иногда сменяемых окислительными; наблюдается во всех почвах гидроморфного и полугидроморфного ряда.

На территории Беларуси весьма распространены **элювиальные ЭПП**:

выщелачивание – процесс выноса (вымывания) за пределы почвы и коры выветривания простых солей щелочных и щелочноземельных металлов, обычно солей Na, K, Ca, Mg;

оподзоливание (лучше называть этот элементарный процесс именно так, хотя часто его отождествляют с подзолистым процессом почвообразования) – процесс разрушения минералов под влиянием кислых инфильтрационных вод под пологом хвойного леса с грубой малозольной лесной подстилкой и выносом продуктов разрушения вниз по профилю;

лессиваж (лессивирование, иллиммеризация) – почвообразовательный процесс перемещения глинистых частиц без их разрушения под действием нисходящих вертикальных и боковых токов влаги.

Весьма разнообразны в почвах Беларуси **иллювиально-аккумулятивные ЭПП** – глинисто-иллювиальный, гумусово-иллювиальный, железисто-иллювиальный, железисто-гумусово-иллювиальный, карбонатно-иллювиальный. Каждый из них отличаются преимущественным накоплением в иллювиальном горизонте тех или иных веществ и соединений.

Современное почвоведение выделяет ряд **педотурбационных элементарных процессов**: самомульчирование, растрескивание, криотурбация, вспучивание, пучение, биотурбация, ветровая педотурбация, агротурбация. Все виды педотурбационных процессов проявляются в Беларуси сравнительно слабо.

Из **деструктивных ЭПП** наиболее распространены *эрозия* (водная эрозия) – процесс разрушения верхних наиболее плодородных горизонтов почв и подстилающих пород талыми и дождевыми водами, и *дефляция* (ветровая эрозия) – процесс разрушения верхних наиболее плодородных горизонтов почв и подстилающих пород ветром.

Общие (тотальные) макропроцессы, иногда называемые типами почвообразования, формируют определенные почвенные индивидуумы (типы,

подтипы и др.). В почвоведении они рассматриваются как черноземообразование, подзолообразование, буроземообразование, солонцеобразование и другие. Чернозем, подзол или вертисоль образуются в результате определенного совместного воздействия нескольких элементарных процессов.

Процессы почвообразования – важнейшая составляющая триады: факторы – процессы – свойства почв. Единого мнения в почвенной науке о количестве основных процессов почвообразования пока не сложилось, механизм почвообразования не имеет достаточно четких ограничений и не отделяет типовые признаки от индивидуальных признаков конкретной почвы. В диагностике почв доминирует описание признаков почвенного профиля, а не почвообразовательного процесса, что часто маскирует типовое сходство почв разного гранулометрического состава.

Традиционное отечественное почвоведение выделяет три основных (подзолистый, дерновый, болотный) и два менее характерных (буроземный, солончаковый) почвообразовательных процесса.

Дерновый почвообразовательный макропроцесс – это совокупность явлений, вызываемых развитием травянистой растительности, основным свойством которой является способность накапливать в почве органические остатки и создавать ряд благоприятных свойств, определяющих плодородие почвы. Этот процесс приводит к формированию характерных типов дерновых почв, а также почв, в которых дерновый процесс сочетается с другими. Дерновый процесс почвообразования развивается на лугах и в лесах с травянистым покровом. Образующиеся в процессе гумификации гумусовые вещества накапливаются в верхнем горизонте почв. Они окрашивают верхние слои почвы ниже дернины (горизонт A_1) в серый или темно-серый цвет. Гумус обогащает почвенные горизонты продуктами азотного и зольного питания растений, ослабляет процессы выщелачивания, увеличивает влагоемкость и аэрацию почв, способствует образованию зернисто-комковатой структуры. Развитию дернового процесса способствуют наличие в почвах кальция, магния и илистых частиц. В целом дерновый процесс приводит к образованию плодородных почв с благоприятными физико-химическими свойствами. Как правило, в условиях Беларуси дерновый процесс сочетается с подзолистым или болотным, а часто и с обоими, формируя соответствующие типы почв.

Подзолистый почвообразовательный процесс в чистом виде развивается под пологом хвойной растительности при полном отсутствии травянистого покрова. Главную роль в развитии подзолистого процесса играет лесная подстилка, в результате разложения которой образуются светлоокрашенные органические кислоты, которые являются важнейшим фактором почвообразования. Вымываясь нисходящими токами воды в

нижележащие минеральные горизонты, они вступают в реакцию с катионами. При этом поглощенные основания почв замещаются ионами водорода гумусовых кислот, что приводит к резкому усилению кислой реакции почвенной среды. Гумусовые кислоты влияют также на распад силикатов, алюмосиликатов и других сложных минералов почв. Вследствие этого процесса образуются коллоидальные гидраты оксидов железа, алюминия, марганца, кремния и т. д. В кислой среде образовавшиеся гидраты продолжают активно взаимодействовать с кислотами, образуя растворимые продукты, которые вымываются в нижние горизонты. Так формируется обедненный коллоидами и полуторными окислами подзолистый горизонт A_2 . Он имеет белесый цвет и состоит в основном из труднорастворимого кварца.

В дерново-подзолистых почвах верхняя часть почвенного горизонта, окрашенная гумусом в сероватые тона, образует гумусовый горизонт A_1 . Вымываемые из горизонтов A_1 и A_2 вещества в условиях уменьшения кислотности и воздействия аэробных бактерий выпадают из раствора ниже подзолистого слоя. Образуется уплотненный иллювиальный горизонт В бурого-красного цвета, переходящий в материнскую породу. Подзолистые почвы, то есть почвы, образовавшиеся под влиянием только подзолистого процесса почвообразования, на территории Беларуси встречаются только под пологом хвойных лесов на севере страны. Дерновый процесс почвообразования там практически не происходит, перегнойный горизонт выражен в виде небольшой прослойки или полностью отсутствует.

Болотный почвообразовательный процесс протекает при избыточном увлажнении в анаэробных условиях. Для него характерно медленное разложение отмерших растительных остатков, которые интенсивно накапливаются на поверхности почвы в виде торфа, и отсутствие вымывания продуктов жизнедеятельности анаэробных бактерий в нижележащие горизонты. Минеральные горизонты при данном почвообразовательном процессе подвергаются оглеению, что приводит к образованию пятен, затеков и сплошных горизонтов глея. В относительно сухие периоды в заболоченные почвы проникает кислород воздуха. При этом закисные формы железа и марганца окисляются и переходят в окисные, в результате чего образуются различной формы и размеров железисто-марганцевые конкреции, ржаво-охристые пятна и разводы.

В полной мере болотный почвообразовательный процесс идет лишь в гидроморфных почвах, проявляясь в торфонакоплении. В форме глееобразования болотный почвообразовательный процесс проявляется также в полугидроморфных почвах.

Общепризнанным является также наличие в отдельных районах республики *буроземного* и *солончакового* процессов почвообразования. *Буроземообразование* – процесс внутрипочвенного выветривания первичных минералов с оглинением и ожелезнением на месте без существенного перемещения продуктов разложения в сочетании с дерновым элементарным почвообразовательным процессом и лессиважем.

Солончаковый процесс в классическом виде – это накопление легкорастворимых в воде солей в верхней части профиля почвы. Он обычно проявляется в аридных условиях с коэффициентом увлажнения менее 1,0. Характерным для солончакового процесса является выпотной водный режим, когда количество выпадающих осадков меньше способности почвы и растений расходовать влагу. Избыток влаги возникает за счет близкого уровня грунтовых вод, капиллярная кайма которых, испаряя влагу, приводит к формированию засоленных почв. Обычно уровень грунтовых вод располагается на глубине 0,5–3,0 м. Солончаковый процесс почвообразования в Беларуси выражается в накоплении вторичных карбонатов из жестких грунтовых вод в условиях локально проявляющегося выпотного водного режима.

2. ПОЧВЫ БЕЛАРУСИ

2.1. Классификация и систематика почв Беларуси

Первые сведения о классификации почв Беларуси содержались в работе профессора В. Г. Касаткина «О почвах Беларуси», опубликованной в 1923 г. В ней указывалось, что зональными почвами республики являются подзолистые, а степень оподзоленности зависит от гранулометрического состава пород и условий рельефа. Я. Н. Афанасьев (1926), анализируя материалы рекогносцировочных почвенных исследований на территории Беларуси, также отнес к подзолистому типу почвы всех повышенных участков рельефа, разделяя их на слабо-, средне- и сильноподзолистые.

В обобщающей монографии под редакцией И. С. Лупиновича и П.П. Рогового (1952), выделено шесть типов почв: дерновые, дерново-подзолистые, дерново-подзолистые заболоченные, дерново-болотные, торфяно-болотные и аллювиально-луговые.

Последующие исследования в области диагностики и генезиса почв, обобщение материалов крупномасштабных почвенных исследований дали основания для дальнейшего развития классификации почв Беларуси. При проведении крупномасштабных почвенных исследований на терри-

тории республики был разработан список А. Г. Медведева, М. П. Булгакова, Ю. И. Гавриленко (1960), согласно которой почвы, имеющие в профиле признаки гидроморфизма, отнесены к дерново-подзолистым заболоченным с делением на три подтипа (временно избыточно увлажняемые, глееватые и глеевые).

Н. И. Смеян, Т. А. Романова, И. Н. Соловей впервые охарактеризовали бурые лесные почвы Беларуси (1972). Г. С. Цытрон (1990) разработала первую классификационную схему антропогенно-преобразованных почв Беларуси, в которой они выделены на самом высоком таксономическом уровне (класс) с дальнейшим делением на типы и подтипы. Антропогенно-преобразованные почвы рассматриваются как самостоятельные почвенные образования, претерпевшие значительные изменения и утратившие свои классификационно-генетические признаки.

Номенклатурный список почв Беларуси включает 13 основных типов почв (Полевое исследование и картографирование почв Беларуси / под ред. Н.И. Смеяна, Т. Н. Пучкаревой, Г. А. Ржеутской, 1990 г. (с дополнениями и изменениями в 2002 г.). Генетический *тип* выделяется по ведущему процессу почвообразования, который находит отражение в строении почвенного профиля. На более низком таксономическом уровне последовательно определяют подтип, род, вид, разновидность и разряд почв. Деление почв на *подтипы* обусловлено проявлением дополнительных почвообразовательных процессов, которые накладываются на ведущий. На уровне *рода* почвы группируются по генезису и характеру строения почвообразующих пород, на уровне *подрода* (только для автоморфных почв) – по наличию признаков временного переувлажнения (оглеения), на уровне *вида* – по степени проявления процессов почвообразования, *разновидности* – по гранулометрическому составу почвообразующих и подстилающих пород. Полное название почвы, например, может быть следующим: «дерново-карбонатная типичная, маломощная, среднегумусная на суглинистом элювии, подстилаемом с глубины 0,5 м мелом». Ниже приведена номенклатура основных типов почв Беларуси, а также соответствующих им «почвенных единиц» легенды Почвенной карты мира (классификация почв WRB):

1. Дерново-карбонатные (регосоли, лептосоли),
2. Бурые лесные (камбисоли),
3. Подзолистые (подзолы, ретисоли),
4. Дерново-подзолистые (ретисоли),
5. Подзолистые заболоченные (подзолы, ретисоли),
6. Дерново-подзолистые заболоченные (ретисоли),
7. Болотно-подзолистые (подзолы),
8. Дерновые заболоченные (глейсоли),

9. Торфяно-болотные низинные (гистосоли терриковые),
10. Торфяно-болотные верховые (гистосоли ферриковые),
11. Аллювиальные дерновые и дерновые заболоченные (флювисоли),
12. Аллювиальные болотные (флювисоли гистиковые),
13. Антропогенно-преобразованные почвы (антросоли, техносоли).

По мере углубления и расширения почвенных исследований накопился большой массив данных о строении, составе и свойствах почв Беларуси, появились новые научные концепции, были пересмотрены классификационные подходы и принципы. В итоге были предложены новые классификационные схемы почв Беларуси.

В 2004 г. была опубликована монография Т. А. Романовой «Диагностика почв Беларуси и их классификация в системе ФАО-WRB», которая вызвала оживленную дискуссию среди ученых-почвоведов. В основу предложенной автором классификационной схемы положен гидрологический подход. Так, на верхнем таксономическом уровне (класс, тип, подтип) почвы дифференцированы по характеру увлажнения и особенностям водного режима. Далее (на уровне рода и подрода) учтены гранулометрический состав, строение и свойства почвообразующих пород и химический состав грунтовых вод. Различия почв на нижнем таксономическом уровне (вид, разновидность, вариант) обусловлены, по мнению автора, хозяйственным воздействием человека. Обособленно приводится классификация пойменных почв.

В 2007 г. была предложена классификационная схема почв Беларуси в работе Н. И. Смеяна и Г. С. Цытрон «Классификация, диагностика и систематический список почв Беларуси». Данная классификационная схема все разнообразие почв Беларуси распределяет в три отдела по соотношению природных и антропогенных факторов: естественные, антропогенно-естественные и антропогенно-преобразованные.

Классы выделены по преобладающему фактору почвообразования, подклассы – по строению профиля и основному процессу почвообразования. Так, естественные почвы разделены на 3 класса (автоморфные, полугидроморфные, гидроморфные) и 8 подклассов. Почвы антропогенно-естественные делятся на автоморфные, полугидроморфные и осушенные; почвы антропогенно-преобразованные – на агрогенные и техногенные. Остальные таксономические единицы классификации (тип, подтип, род, вид, разновидность), в основном, близки соответствующим единицам традиционной схемы. Правда, при этом количество типов почв Беларуси возрастает до 52-х.

Диагностические признаки почв Беларуси. Для того чтобы найти место почвы в номенклатурном списке, нужно ее «диагностировать». Для диагностики почв определяются их внешние и внутренние признаки,

важнейшими из которых являются строение профиля, морфологические, физико-химические свойства отдельных горизонтов, гранулометрический состав, распределение ила в почвенной толще.

Идентификация почвенного профиля – одна из труднейших задач почвоведения. Главная проблема – увидеть за индивидуальными признаками отдельного почвенного разреза общую типовую черту.

Диагностика почв Беларуси основана на традиционном подходе, опирающемся, в основном, на морфологические признаки почв. Особое внимание при этом уделяется подгумусовым горизонтам, так как гумусовые горизонты часто имеют следы антропогенного влияния, даже в почвах под лесами. Оглеение диагностируется по синеватым и зеленоватым тонам при состоянии анаэробно-анаэробного (редуктоморфные признаки), по ярко-желтым, охристым, ржавым, буроватым тонам при состоянии аэробно-аэробного (оксиморфные признаки).

К общим (собирательным) признакам почв *автоморфного* ряда Т. А. Романова (2004) относит бурую или палевую окраску подгумусовых горизонтов, слабую выраженность иллювиальных горизонтов (кроме почв на лессовидных отложениях), подстилку типа муль или муль-модер.

К типовым (генеративным) признакам бурых лесных почв можно отнести наличие подгумусового бурого метаморфического горизонта (B_m), оглиненного и уплотненного. В дерново-подзолистых почвах подгумусовый горизонт обычно имеет осветленную, палевую или буровато-палевую окраску.

Собирательным признаком *полугидроморфных* почв является наличие в профиле осветленных горизонтов и признаков оглеения.

К генеративным признакам дерново-подзолистых заболоченных почв относят наличие подгумусового белесого или желтовато-белесого горизонта с железистыми новообразованиями, явное оглеение материнской (подстилающей) породы.

Для дерново-подзолистых с иллювиально-гумусовым горизонтом (B_h) почв характерны: подгумусовый горизонт белесого цвета A_2 , бесструктурный, ясно переходящий в B_h – бурый иллювиально-гумусовый горизонт; часто седоватая присыпка в гумусовом горизонте.

Для дерновых заболоченных почв характерно наличие подгумусовых горизонтов с признаками оглеения и гидрогенной аккумуляции железа или кальция без признаков оподзоливания; серый с ржавыми или охристыми прожилками горизонт A_1 ; пунктуации марганца; глеевый горизонт на некоторой глубине.

Для *гидроморфных* почв характерно сильное временное или постоянное насыщение водой. Торфяные горизонты диагностируются по составу

естественной растительности и ботаническому составу торфа, иловато-болотные – по наличию мощного (более 30 см) гумусового горизонта сизо-черного цвета.

Наиболее характерным признаком *пойменных* дерновых почв является при сходстве с аналогичными почвами водоразделов слоистость аллювиальных отложений и значительна мощность гумусовых горизонтов.

Располагая полным набором аналитических данных, подобных приведенным выше, в совокупности с морфологическим описанием профилей, диагностика почв может быть выполнена с достаточно высокой степенью достоверности. В полевых условиях дополнительно применяется ряд экспресс-методов оценки физико-химических свойств почв. Так, независимо от способа определения кислотности, следует принимать в расчет, что показатели pH_{KCl} являются генетически обусловленными только для двух типов почв: дерново-подзолистых заболоченных с иллювиально-гумусовым горизонтом (неизменно кислым и сильнокислым) и дерновых заболоченных (близким к нейтральным, нейтральным и щелочным). Кислотность всех остальных почв в значительной мере обусловлена химическим составом почвообразующих пород. Даже среди дерново-подзолистых заболоченных почв, которые в целом характеризуются повышенной кислотностью, встречаются варианты с $pH_{KCl} > 6,0$ в горизонтах A_1 и G. Поэтому при определении генезиса почв кислотность является малонадежным признаком. И тем более нельзя устанавливать генезис почвы по кислотности пахотного горизонта. При этом различить антропогенно обусловленную и естественную кислотность пахотного слоя не сложно: высокие значения pH_{KCl} в пахотном слое, как правило, резко снижаются в подпахотном.

Для разграничения осветленных подзолистых (A_2) и глеевых (G) горизонтов издавна применяется проба кровяной солью или прокаливание образцов. Оба метода дают хорошие результаты, позволяющие отличить подзолистые горизонты от глеевых.

Дополнительным показателем для диагностики может служить и содержание гумуса, величина которого четко увеличивается в почвах по мере возрастания степени их гидроморфизма.

2.2. Характеристика генетических типов почв Беларуси

Дерново-карбонатные почвы (*регосоли, лептосоли* в системе WRB) формируются на твердых карбонатных породах в результате дернового процесса почвообразования. Распространены в Беларуси повсеместно небольшими участками среди дерново-подзолистых почв (цветная вклейка 9). Данные почвы занимают небольшую площадь, в составе сельскохозяйственных земель республики – всего 3278 га.

Развиваются в автоморфных условиях при промывном типе водного режима. Особенности строения и свойства дерново-карбонатных почв Беларуси сильно зависят от характера почвообразующих пород, содержание карбонатов в которых может составлять от 40 до 95 %. К таким породам относятся: плотные известковые породы (доломиты, известняки, мел); пресноводные образования в виде мергелей, омергелеванных пород, известковых туфов; карбонатная морена; лессы; водно-ледниковые отложения, подстилаемые с глубины до 0,5 м мелом.

Дерново-карбонатные почвы на уровне подтипа делят на типичные, выщелоченные и оподзоленные.

Типичные дерново-карбонатные почвы обычно развиваются на плотных карбонатных породах в автоморфных условиях, небольшими участками распространены по всей территории страны.

Почвы существуют в условиях только атмосферного водного питания и низкой водоудерживающей способности карбонатного мелкозема. Рендзинообразование (дерновый процесс) в них ведет к формированию небольшого, но хорошо выраженного гумусового горизонта (5–10 см), залегающего зачастую непосредственно на материнской породе – известняковом рухляке, переходящем в твердую карбонатную породу. В итоге профиль имеет вид A_1-C . Вскипание от воздействия соляной кислотой наблюдается в верхнем горизонте. Содержание гумуса составляет 4–6 %, горизонт насыщен карбонатами, обладает хорошими водно-физическими свойствами. Однако такие почвы зачастую непригодны для сельского хозяйства, покрыты неприхотливым разнотравьем с суккулентами (очитком едким и пурпурным), что свидетельствует о недостатке влаги в биоценозе.

Дерново-карбонатные *выщелоченные* почвы имеют наряду с гумусовым еще и иллювиальный горизонт В (A_1B), который плохо выражен и представляет собой скорее переходный горизонт от гумусового к материнской породе. Он имеет бурую окраску, уплотнен, с содержанием гумуса 3–4 %. Вскипание от HCl наблюдается с глубины 40–60 см. Почвы обладают высоким плодородием, часто распаханы.

Для верхней части профиля характерны обедненность илистыми частицами, слабокислая реакция среды, высокая степень насыщенности основаниями, малое содержание полуторных оксидов, преобладание в составе гумуса гуминовых кислот над фульвокислотами, высокая доля гуминовых кислот, связанных с кальцием.

Для *оподзоленных* дерново-карбонатных почв характерно присутствие осветленного подгумусового горизонта, обычно палевого цвета, который часто диагностируется как подзолистый А₂. В них также морфологически хорошо выражен уплотненный иллювиальный горизонт В. Вскипание от кислоты в таких почвах наблюдается с глубины 60–100 см. Реакция гумусового горизонта слабокислая, содержание гумуса – до 3 %.

Для большинства полевых культур суглинистые разновидности дерново-карбонатных почв оценены исходным баллом плодородия 100, то есть как лучшие. Однако мнение о высоком плодородии таких почв относится в первую очередь к их оглеенным внизу или на контакте аналогам, так как непродолжительное переувлажнение способствует улучшению водного режима, усилению выветривания карбонатных пород и более значительному накоплению мягкого гумуса (типа муль).

Наиболее характерными диагностическими признаками *дерново-карбонатных* почв являются: компактность почвенного профиля с отсутствием элювиальных и оглеенных горизонтов; реакция среды верхнего горизонта близка к нейтральной ($pH > 6$), нижних горизонтов – щелочная ($pH > 7$); высокие емкость катионного обмена и степень насыщенности основаниями; развитый гумусовый горизонт с преобладанием гуминовых кислот в составе гумуса.

Бурые лесные почвы (*камбисоли*) в Беларуси встречаются небольшими массивами и занимают повышенные, хорошо дренированные участки на рыхлых моренных или водно-ледниковых песчаных, супесчаных, песчано-гравийных породах. Формируются бурые почвы преимущественно под широколиственными и смешанными лесами с обилием кустарников и включением неморальной (западноевропейской) травянистой растительности, иногда под мертвопокровными типами леса.

Буроземообразование реализуется при благоприятном сочетании тепла и влаги, при отсутствии даже слабого анаэробноз. Почвы развиваются лишь на рыхлых породах богатого минералогического состава, чаще полимиктовых песках и супесях. Влага в такой почве находится преимущественно в рыхлосвязанной форме, хорошо доступной растениям. Хорошие условия аэрации и высокая водопроницаемость почв обуславливает ярко-бурую или красно-бурую окраску подгумусовых горизонтов.

Отличительной чертой такого почвообразования является железистый метаморфизм: выветривание первичных силикатов освобождает железо, оксиды и гидрооксиды которого осаждаются пленками на других минералах и окрашивают подгумусовые горизонты почв (B_m) в характерный бурый цвет. Железистый метаморфизм сопровождается трансформацией вторичных почвенных минералов без значительного перемещения их по профилю.

Для морфологического строения почв характерны постепенные переходы между горизонтами и монотонная бурая окраска (цветная вклейка 12). Профиль имеет обычно вид $A_0-A_1-A_1B_m-B_m-(B_mC)-C$. Индекс горизонта в скобках здесь и далее по тексту означает, что данный горизонт может отсутствовать.

Лесная подстилка в почвах имеет малую мощность, состоит обычно из одногодичного опада (до 1 см), который содержит большое количество зольных элементов. Слабое накопление подстилки свидетельствует о высокой биологической активности микроорганизмов и мезофауны.

Гумусовый горизонт обычно имеет мощность 6–10 см. Содержание гумуса довольно высокое (5–8 %), он характеризуется фульватно-гуматным составом с преобладанием гуминовых кислот, связанных с полуторооксидами. Реакция среды – кислая и слабокислая при высокой степени насыщенности основаниями (65–70 %) за счет биогенного накопления кальция и магния в подстилке и гумусовом горизонте. Для почв характерна высокая общая пористость и хороший воздушный режим. Оглеение для бурых лесных почв не свойственно, может присутствовать только на контакте пород или в нижней части профиля.

Бурые лесные почвы при крупномасштабном почвенном картографировании в Беларуси первоначально не выделялись, поэтому в составе сельскохозяйственных земель их насчитывается всего 192 га («Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь», 2001). Они характеризуются невысоким почвенным плодородием по отношению к традиционным сельскохозяйственным культурам с исходным баллом качественной оценки 33–49 из-за легкого гранулометрического состава. Однако эти почвы представляют серьезную ценность для лесного хозяйства, так как хорошо пригодны для выращивания дуба, ясеня и других ценных пород деревьев.

Наиболее характерными диагностическими признаками *бурых лесных* почв являются: отсутствие элювиальных и оглеенных горизонтов; развитие на рыхлых галечниковых породах богатого минералогического состава; слабая дифференциация на отдельные горизонты и значительное содержание обменных катионов.

Подзолистые почвы (*ретисоли, подзолы при наличии горизонта Bh*) образуются под хвойной растительностью с моховым покровом в условиях промывного водного режима. В условиях Беларуси встречаются редко, приурочены к хорошо дренируемым участкам водоразделов, склонов надпойменных террас и заандровых равнин, сложенных кварцевыми песками. Формируются под ельниками, реже сосняками черничными и мшистыми, чаще в северной и восточной частях страны. Ввиду крайне низкого плодородия они не используются в сельском хозяйстве и заняты лесом. Сведения об их количестве в составе сельскохозяйственных земель страны отсутствуют.

Из-за обедненности почвообразующей породы и лесного опада зольными элементами в почвах очень слабо протекает процесс гумусонакопления и интенсивно процесс элювирования, что приводит к резкой дифференциации почвенного профиля. Профиль подзолистых почв имеет вид $A_0-A_1A_2-A_2-(B_h)-B_2-C$. Выделяют обычно оторфованную лесную подстилку темно-коричневого цвета мощностью 3–6 см; гумусово-подзолистый горизонт A_1A_2 пепельно-серого цвета (7–12 см), сильноокислый ($pH < 4,0$), с малым содержанием гумуса (до 1–1,5 %) и элементов питания; подзолистый пепельно-белый горизонт (6–27 см), очень кислый ($pH\ 3,4-3,8$) с незначительным содержанием любых металлических катионов. Ниже элювиального слоя в подзолистых почвах может встречаться иллювиально-гумусовый B_h горизонт буровато-желтого цвета, кислый, с содержанием гумуса 0,5–0,7 %, под которым залегают желтый растянутый иллювиальный горизонт B_2 с ортзандами и слабо отличающаяся от него светло-желтая почвообразующая порода.

Подзолистые почвы отличаются низким содержанием гумуса с преобладанием в его составе фульвокислот, кислой реакцией среды и невысокой насыщенностью основаниями верхних горизонтов. Почвы бедны азотом, фосфором и калием, но содержат большое количество подвижных соединений железа и алюминия. Отличаются также плохими водно-физическими свойствами. Среди подзолистых почв Беларуси помимо наиболее распространенных иллювиально-гумусовых выделяют еще неразвитые (на эоловых песках) и псевдофибровые (на слоистых песках).

В большинстве западноевропейских классификаций почв подзолистыми (подзолами) называют лишь почвы с наличием диагностического горизонта «сподик», обозначаемого B_h , то есть иллювиально-гумусового (альфегумусового), залегающего под светлым элювиальным горизонтом (подзолистым). По мнению Т.А. Романовой, все подзолы полугидроморфные. Нисходящий водный перенос влаги проявляется в таких почвах весьма длительно, а в глеевых разностях – почти постоянно.

Наиболее характерными диагностическими признаками *подзолистых* почв являются: приуроченность к бедным песчаным породам севера Беларуси; отсутствие четко выраженного гумусового горизонта (содержание гумуса не превышает 1,5 %); белесая окраска подзолистого горизонта; наличие в большинстве случаев иллювиально-гумусового горизонта; сильноокислая реакция среды; малое содержание обменных оснований.

В смешанных лесах с травянистым и мохово-травянистым наземным покровом подзолистый и дерновый процессы почвообразования протекают одновременно, что приводит к формированию ***дерново-подзолистых почв (ретисоли)***, которые обладают благоприятными для растений свойствами и средним уровнем плодородия.

Для дерново-подзолистых почв характерен промывной водный режим, однако в условиях нашей страны он выражен нечетко, постоянное сквозное промачивание почвенной толщи чаще всего отсутствует. Развиваются дерново-подзолистые почвы на породах разного генезиса и сложения, что приводит к значительным вариациям их морфологии и свойств. Однако почвы имеют и ряд характеристик, которые их объединяют.

Характерной *морфологической* особенностью дерново-подзолистых почв является их четкая дифференциация на генетические горизонты A_0 - A_1 - A_2 -В-С. Подзолистый горизонт мощностью от нескольких до десятков сантиметров чаще окрашен в палевый цвет за счет образования вторичных глинистых минералов, часто бесструктурный, в отдельных случаях имеет пластинчатую или листоватую структуру. Иллювиальный горизонт В вследствие обогащенности железом имеет красно-бурую окраску или темно-желтую, повышенную плотность и твердость.

Эти почвы содержат мало гумуса, их верхние горизонты обеднены соединениями CaO , MgO , Fe_2O_3 , и Al_2O_3 , обогащены кремнеземом. Развитие подзолообразовательного процесса отчасти меняет гранулометрический состав почв – верхние горизонты вследствие выноса илестых частиц опесчаниваются, нижележащие – «оглиниваются». Почва мало насыщена основаниями, особенно ее верхние горизонты, где поглощенные катионы H^+ и Al^{3+} часто преобладают над Ca^{2+} и Mg^{2+} . В нижележащих горизонтах соотношение обменных катионов немного меняется в сторону увеличения кальция и магния. Гумусовый горизонт маломощный; содержание гумуса в среднем составляет 1,5–2,5 %; в составе гумуса преобладают фракции гуминовых и фульвокислот, связанные с полуторными оксидами железа и алюминия.

Характерными особенностями *водно-физических свойств* дерново-подзолистых почв являются большая плотность сложения (объемная мас-

са), низкая скорость водопроницаемости и плохая аэрация в нижних горизонтах в случае подстилания плотными породами.

Показатель плотности сложения сильно различается у почв в зависимости от гранулометрического состава. Оптимальной плотностью сложения для выращивания картофеля и корнеплодов является показатель не более $1,1\text{--}1,2\text{ г/см}^3$, а для зерновых культур – не выше $1,3\text{--}1,4\text{ г/см}^3$. Горизонты почв с плотностью более $1,5\text{ г/см}^3$ непроницаемы для корней культурных растений (супесчаные почвы являются исключением). Оптимальной плотностью обладают верхние горизонты дерново-подзолистых почв, развивающихся на лессах и лессовидных суглинках. А у супесчаных почв и временно избыточно увлажненных суглинистых даже гумусовые горизонты имеют высокую плотность сложения ($1,48\text{--}1,61\text{ г/см}^3$). Довольно большую плотность имеют подзолистые горизонты распаханых дерново-подзолистых почв ($1,4\text{--}1,6\text{ г/см}^3$).

Дерново-подзолистые почвы также значительно различаются в зависимости от гранулометрического состава по показателям влагоемкости и удельной поверхности. Если у почв, развивающихся на лессах и лессовидных суглинках, наименьшая влагоемкость (НВ) гумусовых и пахотных горизонтов составляет 19–26 %, то у почв, развивающиеся на супесях, она не более 16–17 %. С перемещением вниз по профилю почвы НВ уменьшается, особенно у почв, легких по гранулометрическому составу.

Удельная поверхность почв является косвенным показателем силы, удерживающей элементы питания и влагу в почве. Почвы с удельной поверхностью $59\text{--}117\text{ м}^2/\text{г}$ могут удерживать в 8–20 раз больше влаги и питательных веществ по сравнению с почвами, имеющими удельную поверхность $3\text{--}15\text{ м}^2/\text{г}$. Этот показатель в дерново-подзолистых почвах Беларуси варьирует, преимущественно, в зависимости от их гранулометрического и минералогического состава (табл. 2.1).

Наибольшая удельная поверхность ($59\text{--}117\text{ м}^2/\text{г}$, иногда до $150\text{ м}^2/\text{г}$) характерна для почв, развивающихся на пылеватом среднем суглинке и озерной глине. Затем следуют дерново-подзолистые почвы на легком слабовалунном суглинке ($37\text{--}60\text{ м}^2/\text{г}$), дерново-подзолистые почвы на мощных лёссах ($35\text{--}54\text{ м}^2/\text{г}$) и, наконец, на супесях и песках ($3\text{--}15\text{ м}^2/\text{г}$).

Воздушный режим дерново-подзолистых почв в целом благоприятен, только при влажности, соответствующей наименьшей влагоемкости (ранней весной), в нижних плотных горизонтах может отмечаться недостаток воздуха. По теплофизическим свойствам дерново-подзолистые почвы, как и другие автоморфные почвы Беларуси, относятся к «теплым», однако почвы на песках и супесях в 1,5–2 раза быстрее прогреваются, чем почвы на более тяжелых породах.

Таблица 2.1

Удельная поверхность дерново-подзолистых и
дерново-подзолистых заболоченных почв, м²/г почвы,
(по Капилевич Ж.А., Пучкаревой Т.Н., 1987)

Горизонт	Почвы дерново-подзолистые	Почвы дерново-подзолистые заболоченные		
		слабоглееватые	глееватые	глеевые
супесчаные, подстилаемые песками				
Ап	11	16	30	48
A ₂ B ₁ (g)	9	8	15	17
B ₂	5	9	9	15
B ₃ (BCg)	3	5	7	12
супесчаные, подстилаемые моренным суглинком ближе 1 м				
Ап	21	25	38	55
A ₂ B ₁ (g) / A ₂ g	10	11	23	26
B ₂	22	30	26	35
B ₃ (BCg)	26	42	24	41
легкосуглинистые, подстилаемые моренным суглинком ближе 1 м				
Ап	25	32	44	58
A ₂ B ₁ (g)	9	16	30	33
B ₂	10	29	33	28
B ₃ (BCg)	43	45	32	32
пылевато-суглинистые				
Ап	40	50	39	51
A ₂ B ₁ (g)	21	16	87	105
B ₂	46	56	31	52
B ₃ (BCg)	38	31	61	32
Ск (Сg)	50	46	54	50
средне- и тяжелосуглинистые, подстилаемые глиной				
Ап	59	75	86	102
A ₂ B ₁ (g)	70	70	94	108
B ₂	82	81	112	160
B ₃ (BCg)	118	134	143	149

Внутри типовые различия морфологических, химических и физических свойств дерново-подзолистых почв Беларуси в значительной мере обусловлены характером их почвообразующих пород.

Дерново-подзолистые почвы на глинах и тяжелых суглинках распространены преимущественно в Белорусском Поозерье на сравнительно молодых отложениях озерно-ледниковых низин и платообразных повышений, приподнятых над низинами. В структуре сельскохозяйственных

земель Беларуси на их долю приходится около 1,2 %. Обладают повышенным плодородием в случае достаточной аэрации. Ввиду тяжелого гранулометрического состава автоморфные почвы встречаются реже, чем их заболоченные аналоги.

В строении профиля подобные почвы отличает слабая выраженность иллювиального горизонта, что свидетельствует о незначительной вертикальной миграции продуктов разрушения минералов из-за слабой водопроницаемости пород. Характеризуются различной, но чаще невысокой кислотностью, в верхнем горизонте содержат повышенное количество гумуса. Нижние горизонты нередко отличаются обилием карбонатов и могут вскипать.

Такие почвы содержат малое количество подвижного фосфора, а содержание калия в них удовлетворительное из-за особенностей минералогического состава пород. В составе глинистых минералов более половины, а в нижней части профиля до 80 %, приходится на калийсодержащие гидрослюды. Данные почвы имеют балл плодородия 57, по сравнению с другими дерново-подзолистыми почвами обогащены микроэлементами.

Под еловыми и смешанными лесами Беларуси широко распространены *дерново-палево-подзолистые почвы*. В западной и центральной частях страны они приурочены к хорошо дренированным участкам и развиваются на породах преимущественно суглинистого и супесчаного состава. Отличительной особенностью таких почв является палевая окраска элювиального (подзолистого) горизонта, которая связана с образованием вторичных гидрооксидов железа или глинистых минералов типа гидрослюды. Характерным признаком таких почв является процесс перемещения илистых частиц из палевого в иллювиальный горизонт – лессиваж, и, как результат, наличие текстурного иллювиального горизонта (B_t). Некоторые ученые считают, что повышенная глинистость иллювиального горизонта имеет допочвенное происхождение (Романова Т.А., 2004). В дерново-подзолистых песчаных почвах некоторым аналогом горизонта B_t могут служить ортзанды.

Подобные почвы формально следует относить к ретисолям (раз признается наличие подзолистого процесса), но многие их признаки, особенно в окультуренных вариантах, соответствуют лювисолям. Они характеризуются небольшим содержанием гумуса (1,5–2,5 %), кислой реакцией, невысокой насыщенностью основаниями, сравнительно обогащены элементами питания.

В *дерново-подзолистых почвах, развивающихся на лессах и лессовидных суглинках*, палевость элювиального горизонта выражена особенно четко. Приурочены они к высоким водоразделам, занимают около 10 %

территории Беларуси. Широко распространены на Минской, Ошмянской, Новогрудской возвышенностях, Копыльской гряде, Оршано-Могилевской равнине. Лессовые отложения занимают наиболее повышенные участки перечисленных возвышенностей и встречаются нечасто, преимущественно в пределах Мстиславско-Горецкого лессового плато. Характерной особенностью его мезорельефа является обилие небольших блюдце-западин, образование которых обусловлено просадкой грунта. На лессовидных отложениях встречаются вторично оподзоленные почвы (со вторым гумусовым горизонтом), которые небольшими участками залегают среди обычных дерново-палево-подзолистых. В них под серым гумусовым горизонтом залегает углисто-черный гумусовый горизонт примерно такой же (25 см) мощности, под которым находится среднемощный (примерно 12 см) подзолистый горизонт белесого цвета.

Лессовидные суглинки обычно залегают на моренных отложениях и имеют различную мощность: иногда десятки метров, но чаще 1–2 м. Обычно наблюдается увеличение мощности лессовидных отложений от повышенных участков к понижениям. Особенностью этих пород является их тонкая пористость и высокая влагоемкость. Коэффициент фильтрации влаги в них мал (менее 1 мм/сек), поэтому почвам свойственна низкая водопроницаемость. Вместе с тем в сельскохозяйственной практике аккумуляция влаги весьма полезна в сухие периоды вегетации.

Такие почвы обладают самым высоким плодородием среди дерново-подзолистых почв Беларуси, исходный балл плодородия – 74. Они удобны для сельскохозяйственного использования, так как обычно распространены большими массивами на выровненных участках рельефа, относительно богаты питательными элементами и обладают неплохими водно-физическими свойствами.

Для почв характерна среднекислая реакция по всему профилю, невысокие емкость поглощения, насыщенность основаниями 50 и более %. Содержание гумуса невысокое, отношение гумусовых кислот к фульвокислотам (Сгк/Сфк) близко к единице с преобладанием фракций, связанных с полутороксидами.

Дерново-подзолистые почвы, развитые на водно-ледниковых пылеватопесчаных суглинках, подстилаемых мореной или песком приурочены к высоким равнинам с волнистым рельефом, занимают, по разным данным, от 6 до 12 % территории республики.

Мощность суглинистой толщи в таких почвах обычно около 1 м, а содержание в ней пылеватых фракций составляет 50–55 %. Характерен мощный подзолистый горизонт палевого, реже белесого цвета. Почвы кислые (реакция среды – 4,2–5,5), слабообеспеченные гумусом (2–3 %) и

элементами питания. Такие почвы, при условии подстилания моренным суглинком, являются одними из лучших в республике по потенциалу плодородия, тогда как при подстилании песком отличаются пониженным плодородием (исходный балл кадастровой оценки 57 против 74).

Дерново-подзолистые почвы, развитые на моренных суглинках, приурочены к наиболее высоким грядам с типичным холмисто-моренным рельефом и широким моренным равнинам с волнистым рельефом, занимают примерно 4–5 % сельскохозяйственных земель. Характеризуются высокой долей фракции мелкого и среднего песка – более 50 %, наличием хорошо выраженного подзолистого горизонта, более белесого цвета, чем на лессовидных или водно-ледниковых суглинках. Их профиль относительно короток, хорошо дифференцирован, мощность элювиальной толщи значительно меньше, чем на лессовидных отложениях, нижние горизонты часто обогащены карбонатами. Содержат малое количество гумуса и доступного для растений фосфора, несколько лучше обеспечены калием.

Дерново-подзолистые почвы без палевого оттенка в подзолистом горизонте обычно относят к подтипу собственно дерново-подзолистых. Они развиваются на рыхлых водно-ледниковых, озерно-ледниковых и древнеаллювиальных породах.

Наиболее распространены *дерново-подзолистые почвы, развитые на водно-ледниковых супесях, подстилаемых мореной или песком* (цветная вклейка 12). Приурочены такие почвы к волнистым и слабоволнистым пониженным равнинам, встречаются повсеместно. Мощность супесчаной толщи редко превышает 0,7 м.

Почвы характеризуются наличием осветленного подзолистого горизонта с желтым оттенком, обедненного подвижными формами железа и алюминия, основаниями, что свидетельствует о протекании подзолообразовательного процесса.

Содержание гумуса в таких почвах небольшое, реакция в естественных условиях кислая (рН горизонта A_1 – 3,1–4,8), нуждаются в известковании при использовании под пашню. Эти почвы отличает низкое содержание обменных оснований, элементов питания и малая емкость катионного обмена.

Дерново-подзолистые почвы, развивающиеся на моренных супесях встречаются преимущественно в Поозерье, приурочены к участкам конечно-моренного рельефа.

Мощность пласта покровной супеси – 20–100 см, ниже залегает моренный суглинок, часто карбонатный. Подзолистый горизонт имеет беле-

со-палевую окраску, светлеющую книзу. Подстиление плотными породами обуславливает сравнительно благоприятный водный режим.

Негативными качествами этих почв являются значительная завалунность, низкая пористость, повышенная плотность сложения. Реакция среды чаще слабокислая или близкая к нейтральной, насыщенность основаниями сравнительно велика – более 40 % даже в подзолистом горизонте. Моренные супеси богаче других супесей элементами питания.

Дерново-подзолистые почвы на озерно-ледниковых супесях распространены лишь на 0,3 % сельскохозяйственных земель, почти все находятся на территории Витебской области. Отличаются тонкой сортированностью, горизонтальной выраженной слоистостью. Эти почвы характеризуются кислой реакцией, бедностью гумусом и элементами питания.

Дерново-подзолистые почвы формируются также на песчаных почвообразующих породах разнообразного генезиса. Более всего распространены *дерново-подзолистые почвы на водно-ледниковых песках* (9–10 % сельскохозяйственных земель). Они встречаются почти повсеместно участками различной величины, чаще приурочены к зандровым отложениям южнее границы поозерского оледенения.

Для почв характерны кислая реакция среды, незначительное содержание ила и даже физической глины, что обуславливает низкую емкость поглощения. Они слабо обеспечены калием и фосфором, обладают низкой порозностью и гигроскопичностью.

Почвы на *озерно-ледниковых песках* отличаются рыхлым строением, что обуславливает их малую влагоемкость и высокую водопроницаемость. Такие пески характеризуются тонкой сортированностью и более разнообразным, по сравнению с песками другого генезиса, минералогическим составом (кроме кварца присутствуют полевые шпаты, слюды, роговая обманка). В почвах нет ясно выраженного подзолистого горизонта, осветленные участки в профиле простираются на большую глубину. Характерна повышенная кислотность, бедность гумусом, калием и сравнительно высокое (150–250 мг/кг) содержание подвижного фосфора.

Дерново-подзолистые почвы на моренных песках приурочены в основном к возвышенностям севера и центра страны, занимая около 0,4 % площади сельскохозяйственных земель страны. Они сравнительно богаче других песчаных почв элементами питания, обычно слоистые.

Дерново-подзолистые почвы на древнеаллювиальных песках относятся к самым бедным почвам страны и занимают на сельскохозяйственных землях около 0,2 млн. га. Подзолистый горизонт в профиле выражен очень слабо из-за высокой водопроницаемости, в нижней части профиля характерны ржавые пунктации и прожилки. Преобладает среднекислая

(рН 4,5–5,0) реакция среды по всему профилю, почвы слабообеспечены гумусом, фосфором и калием. Водно-физические свойства плохие: большой объемный вес, низкая влагоемкость и гигроскопичность, порозность менее 40 %.

При близком залегании почвенно-грунтовых вод на песчаных отложениях любого генезиса формируются *дерново-подзолистые песчаные почвы, оглеенные внизу*. Такие почвы, развитые на древнеаллювиальных мощных песках, широко распространены в южной части страны по низким плоским водоразделам многочисленных притоков Припяти, занимая примерно 10 % территории. Почвы бедны гумусом, имеют повышенную кислотность.

Неразвитые дерново-подзолистые рыхлопесчаные почвы на бугристых дюнных песках занимают 1,0–1,5 % территории Беларуси. Свыше 90 % этих малоплодородных почв (исходный балл – 20–30) занято сосновыми лесами. При распашке или неумеренном выпасе скота они легко превращаются в развеваемые ветром пески.

Дерново-подзолистые почвы – основная составляющая фонда пахотных земель Беларуси. На них приходится около 34 % сельскохозяйственных и 47 % пахотных земель. Характерные для данных почв повышенная кислотность и невысокое содержание питательных веществ лимитируют уровень их плодородия, однако для почв некоторых разновидностей потенциал продукционной способности очень высок, так как в значительной степени зависит от гранулометрического состава и строения слагающих пород. Самым высоким естественным плодородием среди дерново-подзолистых почв Беларуси характеризуются почвы, сложенные лессами и лессовидными суглинками. Именно на них располагается большинство сельскохозяйственных предприятий – рекордсменов по урожайности полевых культур.

Наиболее характерными диагностическими признаками *дерново-подзолистых* почв являются: четкая дифференциация на элювиальную и иллювиальную части при общем характере смены горизонтов A_0 - A_1 - A_2 - B - C ; растянутасть почвенного профиля; палевая, палево-желтая, редко белесая окраска горизонта A_2 ; кислая реакция среды; элювиальный характер распределения ила и обменных катионов.

Дерново-подзолистые заболоченные почвы (ретисоли, при наличии иллювиально-гумусового горизонта – подзолы) имеют широкое распространение на территории Беларуси.

В естественных условиях на дерново-подзолистых заболоченных почвах, развивающихся на связных и двучленных с водоупором породах произрастают еловые леса, в южной части страны – сосновые и березо-

вые с дубом и грабом. На рыхлых породах образование дерново-подзолистых заболоченных почв наиболее характерно для равнин и низин Центральной и Южной Беларуси в местах, где грунтовые воды залегают близко от поверхности, и капиллярная кайма выполняет роль водопора. Произрастают на таких почвах сосняки и березняки черничные, суходольные низкопродуктивные луга. Распространение дерново-подзолистых заболоченных почв обычно ограничено на более повышенных элементах рельефа присутствием дерново-подзолистых оглеенных внизу, а в нижней части катены – дерновых заболоченных (аллювиальных) почв, реже торфяно-болотных низинных либо пойменных.

В формировании почв участвуют дерновый, подзолистый и болотный почвообразовательные процессы в условиях продолжительного периодического переувлажнения. В теплый период года переувлажнение в таких почвах отсутствует, влага осадков быстро расходуется на транспирацию и испарение, и основное почвообразование происходит в условиях аэробно-биоза. По степени выраженности болотного процесса почвы делятся на виды: *слабоглееватые* (с признаками временного заболачивания), *глееватые* (с пятнами оглеения, признаки заболачивания прослеживаются в нескольких генетических горизонтах), *глеевые* (с сильно выраженным сплошным глеевым горизонтом).

По строению генетического профиля дерново-подзолистые заболоченные почвы сходны с дерново-подзолистыми, однако в одном или нескольких горизонтах всегда выражены признаки заболачивания. Восстановительные процессы, вызванные переувлажнением, представлены в почвенном профиле зеленоватыми, голубоватыми или сизыми пятнами.

Дерново-подзолистые *глееватые* почвы характеризуются следующим строением профиля и свойствами генетических горизонтов: A_0 (6–8 см, pH 3,0–4,4) – A_1 (g) (5–17 см, содержание гумуса 2–5 %, pH 3,2–4,5) – A_{2g} – (6–27 см, бесструктурный, кислый) – (B_h) (коричневых или кофейных тонов, 10–35 см, содержание гумуса 1,0–3,5 %, pH 3,8–4,7) – B_g – C_g .

Дерново-подзолистые *глеевые* почвы характеризуются аналогичным строением профиля, однако под иллювиально-гумусовым в них обычно залегает глеевый горизонт **G**. Иллювиально-гумусовый горизонт в дерново-подзолистых заболоченных почвах чаще отсутствует, но его наличие свидетельствует о наличии сильно выраженной миграции подвижных гумусовых веществ, особенно фульвокислот (соотношение $C_{гк}/C_{фк}$ 0,2–0,4 по данным Домася А.С., 2013).

С увеличением степени гидроморфизма в дерново-подзолистых заболоченных почвах заметно увеличивается количество илистых частиц в верхних горизонтах, плотность иллювиальных горизонтов. Такие почвы –

очень кислые, но с глубиной в них возрастает насыщенность основаниями, особенно в глеевых почвах. Элювиальную природу таких почв хорошо иллюстрирует пониженное содержание оксидов железа в подзолистых горизонтах.

Почвы имеют кислую реакцию среды, содержат чаще 3–5, иногда до 7 % гумуса. Общее его количество существенно растет с увеличением степени гидроморфизма, гумус – гуматно-фульватный. В горизонте В_h фиксируется максимальное в профиле содержание закисного железа. Количество закисного железа максимально в глееватых песчаных почвах (достигает 60 смоль/кг), тогда как в глеевых содержится меньше из-за избытка влаги, а в слабоглееватых – из-за недостатка влаги (до 15 смоль/кг). Почвы слабо насыщены основаниями, их физические свойства отличает высокая порозность и водопроницаемость.

По характеру водного режима почвы делятся на две группы:

- почвы, заболачиваемые поверхностными водами;
- почвы нижних частей склонов, заболачиваемые и поверхностно натекающими, и грунтовыми водами.

Поверхностно переувлажненные почвы (стагносоли, псевдоглеи) развиваются преимущественно на суглинистых породах. Распространены в понижениях с глубоким залеганием грунтовых вод. На них чаще всего произрастают ельники, черничные, реже кисличные или долгомошные. Почвы сильно выщелочены, содержат до 5–8 % гумуса, имеют сильно-кислую реакцию. На тяжелых породах дерново-подзолистые заболоченные почвы хорошо развиты в более легкой верхней части профиля (30–50 см), а нижняя часть профиля, чаще тяжелосуглинистая, служит гидрологическим барьером. В них довольно резко различаются свойства оглеенной верхней части разреза и неоглеенной нижней.

В Беларуси часто встречаются дерново-подзолистые заболоченные почвы, развивающиеся на двучленных породах с водоупором, обычно на супесях, подстилаемых суглинком. Их строение и свойства во многом схожи с аналогичными почвами на суглинистых породах. Полевая влажность таких почв обычно заметно выше в более легкой верхней части.

Основной особенностью дерново-подзолистых заболоченных почв *грунтового оглеения на легких породах* является наличие либо отсутствие иллювиально-гумусового горизонта В_h (сподик). Он формируется на верхней границе капиллярной каймы (цветная вклейка 12).

Степень переувлажнения почв зависит обычно от глубины залегания грунтовых вод: 1 м и ближе – глеевые, 100–170 см – глееватые, 150–200 см – слабоглееватые почвы. Это определяет различия в водном режиме: в дерново-подзолистых слабоглееватых почвах зона активного во-

дообмена составляет около 1 м, она смыкается с капиллярной каймой лишь эпизодически, в глееватых почвах – периодически, в глеевых – практически постоянно. Оглеение подзолистых горизонтов проявляется в виде охристых прожилок, белесых пятен, что говорит о непродолжительном локальном анаэробии.

В слабоглееватых вариантах дерново-подзолистых заболоченных почв, часто вовлеченных под пашню, продуктивность сельскохозяйственных культур заметно снижена по сравнению с автоморфными почвами, то есть даже на этом уровне заболоченности такие почвы нуждаются в агроулучшающих мероприятиях.

Наиболее характерными диагностическими признаками *дерново-подзолистых заболоченных* почв являются: наличие подзолистого горизонта и процесса оглеения, характер и степень развития которого определяет подтиповые и более низкие таксономические различия.

Болотно-подзолистые почвы (подзолы) развиваются в понижениях рельефа или приурочены к плоским равнинам, где накапливаются поверхностные воды. На рыхлых почвообразующих породах Полесья они образуются в местах близкого залегания грунтовых вод. Формируются болотно-подзолистые почвы под сосновыми долгомошно-черничными, еловыми и березовыми долгомошными, багульниковыми, сфагновыми лесами, особенно по краям верховых болот.

Почвообразование происходит под воздействием болотного и подзолистого процессов. Генетический профиль имеет вид $A_0 - T - (A_1g) - A_2g - B_h - B_g - G$. Под торфяным горизонтом Т мощностью 10–30 см может иногда располагаться маломощный гумусовый горизонт A_1g сизо-серого цвета. Ярко выражены в профиле подзолистый и иллювиально-гумусовый горизонты (цветная вклейка 13).

Эти почвы характеризуются кислой реакцией среды (рН 2,7–3,7). Они бедны илом, полуторными оксидами и обогащены кремнеземом. Степень насыщенности основаниями в них не превышает 40 %. В иллювиально-гумусовом горизонте реакция менее кислая (рН 3,6–4,5), он содержит до 5 % гумуса фульватного состава. Такие характеристики свидетельствуют о низком плодородии болотно-подзолистых почв. Почвы болотно-подзолистого типа делят на торфянисто-подзолистые (10–20 см торфа) и торфяно-подзолистые (20–30 см торфа).

Наиболее характерными диагностическими признаками *болотно-подзолистых* почв являются: наличие верхнего торфяного, подзолистого и глеевого горизонтов, очень кислая реакция среды, низкая насыщенность основаниями.

Подзолистые заболоченные почвы (ретисоли) встречаются довольно редко, формируются на рыхлых бедных породах слабодренлируемых водоразделов и понижений под хвойно-мшистыми лесами. Образуют в структуре почвенного покрова комбинации с подзолистыми и болотно-подзолистыми почвами.

От дерново-подзолистых заболоченных почв отличаются почти полным отсутствием дернового процесса почвообразования. Морфологически они близки к подзолистым почвам, при этом один или несколько горизонтов несут следы избыточного увлажнения, а также в профиле может присутствовать иллювиально-гумусовый горизонт. Генетический профиль имеет вид $A_0 - A_{2g} - (B_h) - Bg - G(Cg)$. Лесная подстилка обычно оторфована, мощностью до 10 см, подзолистый горизонт белесый, иногда с сизоватым оттенком, может содержать крупные железисто-марганцевые конкреции. Почвы очень кислые, характеризуются низким содержанием ила, полуторных оксидов и оснований.

Дерновые заболоченные почвы (глейсоли) образуются под воздействием двух процессов почвообразования: дернового и болотного.

Формирование этих почв происходит преимущественно под луговой, а также под лесной растительностью особого состава. Преобладают леса черноольховые и широколиственные (ясеновые, кленовые) с дубом, на севере – еловые с ольхой серой и травянистым покровом. Для луговой растительности характерно участие в травостое мягких злаков (полевица белая, мятлик луговой и др.) и мелких осок. На таких почвах существуют лучшие по продуктивности луга, использование которых возможно без осушительных мелиораций. В Беларуси на долю дерновых заболоченных почв приходится около 10 % сельскохозяйственных земель.

По условиям рельефа почвы, в основном, приурочены к нижним частям склонов, ложбинам стока, окраинам крупных низинных болот или, наоборот, плоским приподнятым участкам среди болотных массивов. Очень важным условием развития дерновых заболоченных почв является наличие хотя бы слабого уклона поверхности, обеспечивающего поступление насыщенных кислородом вод, способствующих активной гумификации органики, и отток излишней влаги.

В зависимости от состава и строения почвообразующих пород формируются разные условия увлажнения почв: поверхностные или грунтовые. Дерновые заболоченные почвы поверхностного оглеения развиваются, преимущественно, на суглинистых и глинистых слабоводопроницаемых породах. Степень оглеения в них с глубиной уменьшается. Если дерновые заболоченные почвы развиваются на *двучленных породах*, в частности на рыхлых породах, подстилаемых связными, то последние

служат водоупором, на контакте с которым происходит интенсивное движение грунтовых вод вдоль склона, поэтому в почвах средних и нижних частей склонов наблюдается постоянный боковой приток влаги и поверхностное (склоновое) переувлажнение. Установлению промывного водного режима препятствует внутрипочвенное движение влаги, обусловленное характером рельефа и слабой проницаемостью подстилающих пород.

Дерновые заболоченные почвы, переувлажненные грунтовыми водами, развиваются на рыхлых породах легкого гранулометрического состава. Признаки оглеения в них с глубиной нарастают. Весной капиллярная кайма грунтовых вод в таких почвах выходит на поверхность, летом – достигает поверхности лишь на глеевых разностях (на глееватых находится в среднем на глубине 0,3 м, слабоглееватых – 0,5 м).

По степени выраженности болотного процесса дерновые заболоченные почвы делятся на глееватые и глеевые. Генетический профиль обычно имеет вид $A_d - A_1 - Bg - G(Cg)$. Характерными морфологическими признаками являются наличие темноокрашенного оструктуренного гумусового горизонта значительной мощности (15 см и более), отсутствие подзолистого горизонта, голубоватая или серая окраска оглеенных подгумусовых горизонтов.

Типичными свойствами всех дерновых заболоченных почв считают высокую насыщенность основаниями по всему профилю и большую концентрацию гумуса в горизонте A_1 . В почвах связного состава содержание гумуса достигает 10 %, а иногда 30 %. Гумус – высокоминерализованный, мягкого часто фульватно-гуматного состава с повышенной долей гуминовых кислот 2-й группы, связанных с кальцием. Для почв легкого гранулометрического состава характерно наличие темного гумусового горизонта не менее 15 см с содержанием гумуса 3,5–5,5 %. Реакция среды в дерновых заболоченных почвах может быть от слабокислой до нейтральной, но всегда на единицу выше, чем в окружающих почвах.

Дерново-глеевые почвы характеризуются высокой плотностью сложения глеевых горизонтов, у супесчаных разновидностей она может достигать 1,9 г/см³. Природа такой плотности обусловлена бесструктурностью и наличием полуторных оксидов, цементирующих почвенные частицы. Высокая плотность глеевых горизонтов является причиной низкой водопроницаемости почв (может быть менее 50 мм/час).

При близком от поверхности залегании минерализованных почвенно-грунтовых вод развиваются *дерновые заболоченные карбонатные почвы*, в формировании которых участвует солончаковый процесс почвообразования. В летний период, когда расход воды из почвы превышает количе-

ство поступивших осадков, создаются условия выпотного водного режима. В результате грунтовые воды, обогащенные катионами кальция и магния, поступают к поверхности почвы, где происходит аккумуляция карбонатных соединений. Нередко под гумусовым горизонтом может образоваться сплошной карбонатный горизонт. Профиль почв имеет строение $A_{kg} - B_kG - C_k$. Для таких почв характерны: высокая насыщенность основаниями по всему профилю, реакция среды от нейтральной до щелочной, значительное количество гумуса (до 15 %) фульватно-гуматного и гуматного состава. В номенклатурном списке почв Беларуси дерновые заболоченные карбонатные почвы образуют один тип с дерновыми заболоченными, потому что карбонатность рассматривается как явление вторичное – следствие химизма вод.

Для повышения плодородия дерновые заболоченные почвы требуют осушения и применения минеральных удобрений. При осушении, необходимом для использования их под пашню, часто происходит резкое уплотнение подпахотного горизонта за счет цементации полуторфных оксидов в аэробных условиях, вымывание катионов из верхних горизонтов, увеличение кислотности и уменьшение гумусированности, особенно при грунтовом переувлажнении.

Торфяно-болотные почвы занимают примерно пятую часть территории Беларуси, приурочены к пониженным элементам рельефа. Торфяно-болотные почвы – это почвы гидроморфного ряда. Их происхождение и развитие связано с условиями постоянного избыточного увлажнения: по меньшей мере в течение 200 дней в году влажность верхнего слоя почв превышает величину наименьшей влагоемкости.

Процесс торфообразования – это накопление на поверхности почвы полуразложившихся растительных остатков в результате замедленной их гумификации и минерализации в условиях избыточного увлажнения. Его характер зависит от состава растений-торфообразователей, которые образуют торфяные почвы верхового, переходного и низинного типа, поддерживая и формируя условия своего существования.

Основным почвообразовательным процессом в формировании торфяно-болотных почв является болотный. В результате его происходит накопление органического вещества (торфа) и оглеение подстилающей минеральной части почвы. Важное значение имеет характер водного питания почв, в зависимости от которого почвы делятся на верховые (олиготрофные), низинные (эвтрофные) и переходные (мезотрофные). Болотные почвы низинного типа отличаются высоким потенциальным плодородием, почвы верховых болот имеют сильноокислую реакцию среды, и их использование в сельском хозяйстве ограничено и нецелесообразно.

Низинные болотные почвы шире представлены на юге Беларуси, верховые – на севере.

Торфяно-болотные почвы низинного типа (*гистосоли терриковые*) в Беларуси распространены достаточно широко и занимают, по разным данным, от 11 до 18 % территории. Примерно половина из них осушена. Самые значительные площади торфяно-болотные низинные почвы занимают в районах Полесья и центральной части Беларуси, меньше их в районах Поозерья.

Почвы приурочены к плоским понижениям водоразделов, понижениям речных долин и озерных котловин с близким залеганием грунтовых вод. Накопление низинного торфа происходит при застаивании слабопроточных грунтовых вод и, достаточно часто, путем зарастания водоемов. В качестве растений-торфообразователей выступают разнообразные древесные, кустарниковые, травяные и моховые виды растений: береза пушистая, ольха черная, ель, отдельные виды ив, тростник, камыш, рогоз, вейник, канареечник, осоки, представители разнотравья (вахта, сабельник, таволга и др.), гипновые мхи. Они образуют разнообразные фитоценозы: лесные, лесо-травяные и др. В Беларуси выделено восемь основных видов торфа низинного типа: древесный, древесно-осоковый, древесно-тростниковый, осоковый, осоково-гипновый, тростниковый, тростниково-осоковый, гипновый.

Торфяно-болотные почвы низинного типа (цветная вклейка 13) имеют простое строение: ниже дернины (очеса) *Ad* залегает один или несколько горизонтов *T* серых или коричневых тонов, подстилаемых ниже глеевым горизонтом. Степень разложения торфа обычно заметно увеличивается с глубиной. По химическому составу торфяные почвы низинного типа отличаются, прежде всего, богатством минеральными веществами (зольность 8–16 %) и азотом (до 3 %), однако они бедны калием и фосфором, а также микроэлементами (медь, кобальт, молибден). Имеют обычно благоприятную для растений реакцию среды ($pH_{KCl} > 4$). Степень насыщенности основаниями достигает 70–80 %. Для физических свойств почв характерны низкая плотность сложения ($0,11-0,23 \text{ г/см}^3$), очень высокая влагоемкость (460–870 %) и малая теплопроводность. Степень разложения торфа колеблется от 25 до 60 %.

Осушенные и освоенные под пашню торфяно-болотные низинные почвы имеют значительное эффективное плодородие и являются первоочередным объектом мелиорации ввиду богатства органическим веществом и азотом. Балл их плодородия после осушения (с отрегулированным режимом влажности) может достигать 80-ти по 100-бальной шкале. С увеличением доли мхов среди растений-торфообразователей потенци-

альное плодородие торфяно-болотных почв низинного типа снижается до 40–50 баллов.

В Беларуси актуальной является проблема сработки торфа, то есть сокращения мощности торфяного пласта при сельскохозяйственном использовании почв. Главной ее причиной может быть быстрая гумификация и минерализация органического вещества. В настоящее время ученые разрабатывают разнообразные технические приемы, направленные на уменьшение потерь органического вещества при пахотном использовании осушенных торфяных почв.

Наиболее характерными диагностическими признаками *торфяно-болотных низинных* почв являются: наличие торфяных горизонтов темного цвета, приуроченность к депрессиям рельефа с избытком грунтового водного питания, значительное участие осок и тростников в торфообразовании, высокая зольность торфа.

Торфяно-болотные почвы верхового типа (*гистосоли ферриковые*) занимают 2,1 % территории Беларуси. Распространены преимущественно в северной части страны, где приурочены к замкнутым котловинам водоразделов, пологим склонам террас с близким от поверхности водоупором и затрудненным боковым стоком. Торфяно-болотные почвы верхового типа формируют растения, довольствующиеся поступлением влаги только из атмосферных осадков. К числу таких растений относятся прежде всего сфагновые мхи и кустарнички (багульник, вереск, клюква, подбел), а также пушица, сосна и береза пушистая.

Профиль торфяно-болотной почвы верхового типа (цветная вклейка 13) сходен с низинной почвой, но сверху залегает **O_ч** сфагновый очес мощностью 10–15 см, соломенно-желтого или светло-буроватого цвета.

Торфяные почвы верхового типа характеризуются низкой зольностью (2–5 %), малой плотностью сложения (0,04–0,08 г/см³), высокой влагоемкостью (600–1200 %). Они обладают чрезвычайно кислой реакцией среды (рН_{KCl} 3,2–4,2, а иногда и 2,5), обеднены кальцием и питательными элементами (содержание азота 1–2 %), имеют очень слабую насыщенность основаниями (10–20 %). Они непригодны под распашку, их экологическое и природоохранное значение намного превышает их оценку с точки зрения возможностей сельскохозяйственного использования. Торф этих болот может быть использован на подстилку скоту, топливо.

Наиболее характерными диагностическими признаками *торфяно-болотных верховых* почв являются: наличие торфяных горизонтов, приуроченность к депрессиям рельефа с затрудненным поверхностным и внутрипочвенным стоком вод, значительное участие сфагновых мхов в торфообразовании, низкая зольность и плотность торфа.

Торфяно-болотные почвы верхового типа на уровне рода включают **торфяно-болотные переходные почвы (транзитгистосоли)**. Они занимают 2,5–3,0 % территории Беларуси и промежуточное положение между верховыми и низинными. В естественном положении они диагностируются по наличию растений, свойственных как верховым, так и низинным болотам. Для них типичны высокобонитетные еловые, сосновые и березовые леса с участием в наземном покрове кустарничков, осок, сфагновых и зеленых мхов. Самые значительные по площади массивы переходных торфяников встречаются в понижениях, куда поступают почвенно-грунтовые воды, мало отличающиеся от атмосферных по своему химизму.

По генезису, морфологии и свойствам почвы близки к торфяно-болотным низинным, но имеют более низкую зольность (4–6 %), содержат меньше азота (2 %), отличаются более высокой кислотностью верхних горизонтов (pH_{KCl} 3,8–4,7). По показателям плотности сложения ($0,11\text{--}0,16 \text{ г/см}^3$) и влагоемкости (550–950 %) почвы тоже занимают промежуточное положение между верховыми и низинными. При осушении и распашке таких почв необходимо удаление верхнего кислого и бедного питательными веществами слоя торфа, часто требуется известкование. В целом их плодородие на 10–20 баллов ниже, чем низинных торфяников аналогичной мощности.

Аллювиальные почвы формируются в условиях речных пойм под воздействием дернового и болотного процессов почвообразования и их сочетаний. Ежегодное затопление пойм водами весенних разливов и паводков создает достаточно самостоятельную категорию почв. Своеобразие их заключается в том, что процессы почвообразования и породообразования протекают одновременно, причем отлагающиеся осадки уже подвергались почвообразованию, поэтому процесс формирования аллювиальных почв происходит очень быстро. С водоразделов в поймы сносятся органическое вещество почвы, химизм речных и грунтовых вод в поймах определяет характерные черты почвенного профиля (карбонатность, охристость или оруденелость). Это предопределяет развитие в поймах преимущественно дерновых заболоченных почв, сходных с почвами междуречий. В районах интенсивной распашки и осушительной мелиорации короткие бурные половодья обедняют почвы питательными элементами и предопределяют формирование преимущественно грубого, обедненного органическими веществами аллювия.

Пойменные почвы Беларуси согласно номенклатурному списку объединены в два типа: аллювиальные дерновые и дерновые заболоченные, аллювиальные болотные.

Аллювиальные (пойменные) дерновые и дерновые заболоченные почвы (флювисоли) занимают свыше 60 % площади всех пойменных почв в республике (около 3,7 % площади сельскохозяйственных земель).

Приурочены преимущественно к прирусловой и центральной частям пойм. Наиболее характерными особенностями почв являются слоистый характер почвообразующих отложений, отсутствие или слабое развитие подзолообразовательного процесса, формирование мощного гумусового горизонта.

В соответствии с принятой классификацией среди аллювиальных почв на уровне *подтипа* выделяются следующие почвы: аллювиальные неразвитые, аллювиальные дерновые оподзоленные, аллювиальные дерновые слабоглееватые, аллювиальные дерновые глееватые и аллювиальные дерновые глеевые (цветная вклейка 13). В отдельный подтип выделены аллювиальные дерновые глееватые и глеевые осушенные почвы.

Аллювиальные *неразвитые* почвы формируются в прирусловой пойме на песчаных гривах под чахлым прерывистым травянистым покровом. Их профиль не дифференцирован на генетические горизонты. Выделяется только небольшой горизонт A_1 с низким содержанием гумуса (0,05–0,25 %).

В аллювиальной *дерново-глеевой* почве обычно мощный гумусированный горизонт A_1 сменяется непосредственно горизонтом G , в аллювиальной *дерново-глееватой* и *слабоглееватой* между ними выделяется один-два переходных горизонта Bg .

По строению профиля и химическим свойствам почвы близки к соответствующим аналогам почв водоразделов. Аналитические данные показывают, что чем в большей степени развит болотный процесс в аллювиальных почвах, тем меньше в них показатель плотности сложения, выше порозность и влагоемкость. Соответственно в химическом составе почв уменьшается содержание фосфора, калия и кремнезема, но увеличивается содержание кальция.

Используется преобладающая часть пойменных почв как естественная кормовая база. В большинстве своем они обладают высоким естественным плодородием, и при соблюдении правильного режима использования дают высокие урожаи трав. Наиболее пригодны для использования в качестве лугов участки центральной части пойм, обладающие наиболее благоприятным водным режимом и плодородными почвами.

Вследствие отсутствия надлежащего ухода, неумеренного и несвоевременного выпаса скота многие пойменные луга сильно засорены малоценными, несъедобными или даже ядовитыми растениями, покрыты кочками и дают низкий урожай трав.

Значительная часть пойменных лугов заболочена, имеет малоценный в кормовом отношении травостой, покрыта кустарниковой и древесной растительностью и практически не используется или же используется недостаточно эффективно. Эту часть заболоченных пойменных лугов необходимо мелиорировать, чтобы вовлечь в сферу интенсивного использования.

Для повышения качества пойменных лугов высокого и среднего уровня необходимо проводить поверхностное и коренное их улучшение. Осушенные и освоенные пойменные почвы можно также использовать и для выращивания полевых и овощных культур.

Аллювиальные болотные почвы (*флювисоли гистиковые*) составляют примерно 40 % всех пойменных почв Беларуси и отличаются от других торфяно-болотных почв значительным приносом илистых частиц талыми водами, поэтому их часто называют иловато-болотными. Они формируются на наиболее пониженных участках притеррасной и, реже, центральной поймы (на месте заросших стариц). Обычно они покрыты болотными (камыш озерный, мятлик водяной, осоки, стрелолист, канареечник, ирис-касатик, ежеголовник ветвистый и другими) травами.

По сравнению с аналогичными внепойменными почвами аллювиальные торфяно-болотные почвы (цветная вклейка 13) имеют более высокую степень зольности, они богаче азотом, фосфором и некоторыми другими питательными веществами. Торф аллювиальных торфяно-болотных почв схож с низинным, но в нем выше показатели степени разложения и зольности. По ботаническому составу доминируют торфа тростниковые и древесные, но встречаются и осоковые, осоково-гипновые. Плотность сложения (объемная масса) торфяных горизонтов почв обычно составляет 0,12–0,17 г/см³, порозность достигает 90 % от объема почвы, что определяет высокую влагоемкость – 500–900 %. Реакция среды, как правило, слабокислая или нейтральная ввиду жесткости грунтовых вод. Типичны случаи, когда отдельные горизонты или вся толща почв сильно насыщены известью или железом, реже с примесью вивианита, что ведет к образованию торфотуфов, оруденелых торфов, торфовививианита.

Аллювиальные болотные почвы обладают очень высоким потенциальным плодородием. Они пригодны после осушения для возделывания самых требовательных культур, выращиваемых в Беларуси, например, овощных.

Иловато-перегнойно-глеевые почвы пойм имеют гумусовый горизонт большой мощности (до 60 см) с содержанием гумуса 10–30 % темно-серого цвета с ржавыми прожилками и сизыми пятнами, ниже которого залегают глеевые слои зеленоватых, голубоватых или сизых тонов. Такие

почвы хорошо обеспечены элементами питания, верхние горизонты более кислые, чем нижние. Обычно заняты тростниковыми, камышовыми, хвощевыми, манниковыми топями. Встречаются торфянисто-перегнойно-глеевые почвы, в которых профиль начинается сверху маломощным, около 20 см, слоем торфа, сравнительно плотного (объемная масса 0,3–0,4 г/см³), с малой для торфов влагоемкостью (около 200 %).

Иловато-перегнойно-глеевые почвы могут развиваться не только в поймах рек, но и на водоразделах. Они легко диагностируются по присутствию в составе растительного покрова гидрофитов. Занимают небольшие участки – 0,02–0,04 га, обычно замкнутые западины. Они часто остаются переувлажненными даже на осушенных массивах. Мощность гумусового горизонта в таких почвах может достигать 35–60 см, а плотность сложения в верхнем горизонте составлять 0,4–0,9 г/см³ при общей порозности 64–80 %. Иными словами, по водно-физическим свойствам такие почвы являются переходными от минеральных к торфяно-болотным.

Наиболее характерными диагностическими признаками *аллювиальных болотных* почв являются: приуроченность к поймам рек, наличие торфяных или иловатых (с содержанием гумуса более 10 %) горизонтов, невысокая кислотность из-за преобладания жестких вод, более высокая степень разложения по сравнению с водораздельными торфяниками.

Антропогенно-преобразованные почвы (антросоли) формируются при воздействии на почву человека. С увеличением масштабов хозяйственной деятельности стало возможным говорить о самостоятельном культурном процессе почвообразования, который развивается все сильнее при интенсификации земледелия и техногенеза. Антропогенно-преобразованные – почвы, претерпевшие глубокую трансформацию под влиянием хозяйственной деятельности человека и в значительной степени утратившие свои естественные признаки и качества.

Процессы антропогенизации почв на территории Беларуси имеют довольно высокую степень выраженности. Они обусловлены бурно развивающимся строительством, прокладкой линий электропередач и трубопроводов, добычей полезных ископаемых, интенсивной осушительной мелиорацией, большим объемом культуртехнических работ, рекультивацией земель, агрогенной трансформацией сельскохозяйственных почв. Все это приводит к преобразованию почв с разной степенью их антропогенной трансформации.

Традиционно в Беларуси к антропогенно-преобразованным относят окультуренные и нарушенные почвы. Согласно номенклатурному списку на уровне подтипа к ним относятся следующие почвы: *рекультивирован-*

ные, деградированные (дренированные: дегроторфяные и дегродерновые, деградированные эродированные, *нарушенные* (при добыче полезных ископаемых и в результате других земляных работ), *засоленные* (в том числе загрязненные), *вторично-заболоченные*.

Антропогенно-преобразованные почвы выделяются в настоящее время практически всеми национальными классификациями почв, иногда на самом высоком таксономическом уровне (на уровне *отдела* в классификации почв Смеяна Н.И. и Цытрон Г.С. 2007 г. и классификации почв России 1997 г.). Наиболее детальная классификационная схема антропогенно-преобразованных почв Беларуси составлена Г. С. Цытрон (2004 г.). Согласно схеме, выделено 16 *типов* антропогенно-преобразованных почв: агрикультизмы и агроземы, агроторфоземы, дегроторфоземы, эоловые, смытые, скальпированные, пирогенно-измененные, карьерно-литогенные; рекультивированные, погребенные, турбированные, загрязненные физически и химически, искусственно-заболоченные, вторично-заболоченные. Почвы относятся к самостоятельным перечисленным типам в том случае, если антропогенная трансформация привела к существенным изменениям всего генетического профиля и стиранию естественных типовых признаков. Если же под преобразованным горизонтом полностью или частично сохраняются в ненарушенном состоянии гумусово-аккумулятивные, элювиальные и другие типодиагностические горизонты, то почвы идентифицируются по аналогии с естественными.

Ареалы распространения антропогенно-преобразованных почв на территории Беларуси обусловлены особенностями хозяйственной деятельности. В почвенном покрове сельскохозяйственных земель антропогенно-преобразованные почвы занимают 3,4 %, среди них преобладают деградированные и нарушенные. Во всех областях (кроме Гродненской) преобладают *деградированные торфяные почвы*, на долю которых приходится 2,5 % сельскохозяйственных земель страны. Среди них доминируют *торфяно-минеральные*, в которых содержание органического вещества в пахотном горизонте от 50 до 20 %, а на Полесье – *минеральные остаточно-торфяные* с содержанием органического вещества в пахотном горизонте 2–20 %. Максимальные площади *минеральных после сработки торфа (постторфяных)* почв с содержанием органического вещества менее 2 % наблюдаются в Минской области.

Основные площади *деградированных дерновых почв* приурочены к северной и восточной части Беларуси. Они распространены в пределах сельскохозяйственных земель Могилевской (0,9 %), Витебской и Гомельской (по 0,5 %) областей.

Деградированные почвы овражно-балочного комплекса характерны для северной и северо-восточной частей Беларуси. В северной части республики эти почвы приурочены к возвышенным участкам холмистоморенных ландшафтов, а в северо-восточной части — к Оршано-Могилевской лессовой равнине. В отдельных районах (Оршанский, Мстиславльский) эти почвы занимают более 800 га, что составляет примерно 1 % площади сельскохозяйственных земель. В южной и юго-западной части республики эти почвы практически не встречаются, кроме Мозырской возвышенности.

Нарушенные почвы равномерно встречаются во всех областях республики. Формирование их приурочено к различного рода строительным и культуртехническим работам, сопровождающимся частичным или полным нарушением строения генетического профиля. *Нарушенные рекультивированные почвы* более характерны для Минской и Гродненской областей, где они занимают около 0,8 % сельскохозяйственных земель.

Результатом прогрессивного воздействия человека на почву является окультуренная почва (*агрозем культурный*), то есть почва, сформированная в результате активной сельскохозяйственной деятельности, направленной на повышение плодородия, с учетом ее природных особенностей. Признаком «культурной» почвы можно считать восстановление гармонии ее физических свойств и химического состава, которое достигается, в основном, за счет увеличения запасов гумуса. По настоящему культурная почва проявляет буферность к неблагоприятным условиям среды и способность обеспечивать стабильно высокие урожаи независимо от погодных условий. В культурной почве резко возрастает энергия почвенного гумуса при некотором снижении внутренней энергии почвы.

В условиях Беларуси агроземы культурные формируются под влиянием длительного внесения высоких доз минеральных и органических удобрений, проведения известкования, в результате чего почвы приобретают аккумулятивное строение профиля. Для таких почв характерен мощный (около 40 см) гомогенизированный темно-серый пахотный горизонт с комковато-зернистой хорошо выраженной структурой, обогащенный гумусом (3–5 и более %) и питательными элементами.

3. ПОЧВЕННОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ БЕЛАРУСИ

Районирование в географической науке понимается как метод разделения территории на такие участки, которые отвечали бы выбранным критериям. Почвенно-географическое районирование – это частное (компонентное) географическое районирование, в котором основное внимание уделяется одному компоненту природного комплекса – почвенному покрову.

Первые подходы к **почвенно-географическому** районированию территории Беларуси начали разрабатываться в середине XX столетия. Это работы И. С. Лупиновича (1947), А. Г. Медведева (1950), Н. П. Булгакова (1970), И. Н. Соловья и Н. И. Смеяна (1974) и др. Закономерности распределения почвенного покрова на территории Беларуси определяются природными и антропогенными явлениями, которые называются факторами дифференциации.

Общие закономерности распределения почв на территории Беларуси определяются прежде всего законом горизонтальной зональности. Процессы почвообразования и почвы здесь являются типичными для зоны хвойных и смешанных лесов умеренного пояса, характеризующейся соответствующими факторами почвообразования. Однако факторы почвообразования имеют значительное территориальное и временное варьирование, что сказывается на свойствах почв и образовании почвенного покрова, состоящего из множества почв. Иными словами, совокупность факторов почвообразования приводит к формированию почв, а варьирование факторов в пространстве и времени – к образованию и территориальной дифференциации почвенного покрова.

На территории Беларуси в образовании почвенного покрова наибольшее значение имеют следующие группы факторов дифференциации: геоморфологическая, литологическая, антропогенная (техногенная) и биологическая. Документальной основой схемы районирования были составленные по результатам крупномасштабных почвенных обследований областные почвенные карты, карты почвообразующих пород, эродированных и заболоченных земель, рельефа местности, картосхемы климатических параметров Беларуси. Учитывая особенности факторов почвообразования и дифференциации почвенного покрова, а также состав и свойства почв и характер их использования на территории Беларуси выделены Северная, Центральная и Южная почвенно-географические провинции. Провинции делятся на 7 почвенных округов, в пределах которых выделяется 20 районов (цветная вклейка 14), которые подробно описаны в учебном пособии «География почв Беларуси» (Минск, 2011).

Почвенно-географическое районирование играло и продолжает выполнять позитивную роль в понимании процессов дифференциации почвенного покрова в стране, однако не нашло должного использования в производстве, хотя известно, что заметная доля варьирования урожаев большинства культур определяется территориальными особенностями территории, в первую очередь почвенными, уровнем их плодородия.

Наиболее приемлемым путем повышения эффективности сельскохозяйственной отрасли может быть совершенствование специализации производства в соответствии с природно-климатическими условиями республики и уровнем сложившегося плодородия почв.

В настоящее время в аграрном секторе страны используется почвенно-экологическое районирование Беларуси, используемое для целей разработки специализации и структуры посевных площадей. Основными критериями при проведении почвенно-экологического районирования являются: генетический тип почв и их гранулометрический состав, степень увлажнения, агротехнологическое состояние земель, распространение и интенсивность эрозионных процессов.

По этим критериям выделено три почвенно-экологические провинции. Каждая из них характеризуется особыми климатическими условиями, специфическими рельефом и геоморфологией, агротехнологическим и мелиоративным состоянием земель, определенными почвообразующими породами и почвами и неодинаковой пригодностью для возделывания сельскохозяйственных культур.

1. Северная почвенно-экологическая провинция. В ней преобладают дерново-подзолистые глинистые и суглинистые почвы – 54,2 %, супесчаные занимают 37,2 % (табл. 3.1). Рельеф характеризуется сложным морфометрическим строением, частым чередованием неодинаковых по вертикальным и горизонтальным размерам холмов, наличием межхолмных котловин, нередко занятых озерами, разветвленной сетью ложбин с интенсивным проявлением эрозии и аккумуляции. При среднем удельном весе эродированных почв 11,2 % на пашне этой провинции в отдельных землепользованиях эрозией охвачено более 20 % площади пахотных земель (табл. 3.2).

Высокий эрозионный потенциал пашни обусловлен доминированием в сложении холмов слабо водопроницаемых моренных пород (суглинков, реже супесей). Для провинции характерен высокий удельный вес избыточно увлажненных почв (55,1 %), причем в отличие от Полесья и центральной провинции избыточное увлажнение проявляется здесь на фоне среднего и тяжелого гранулометрического состава почв, что хронически не позволяет выполнять полевые работы в оптимальные сроки.

Таблица 3.1.

Природно-экологические условия территории Республики Беларусь

Природно-экологические условия зон	Белорусское Поозерье	Центральная Беларусь	Белорусское Полесье	Беларусь
Агроклиматические условия				
Сумма активных температур (более 10 °С)	2230	2270	2430	2320
Сумма осадков за тот же период	360	350	330	350
ГТК	1,7	1,5	1,3	1,5
Морфометрия рельефа				
Склоны крутизной < 3°, %	15,3	49,0	95,1	65,4
Средняя длина склонов, м	364	398	383	390
Склоны крутизной 3-5°, %	59,4	27,7	3,3	27,6
Средняя длина склонов, м	291	346	308	322
Склоны крутизной > 5°, %	25,3	23,3	1,6	7,0
Средняя длина склонов, м	257	320	236	271
Почвы (% от общей площади сельскохозяйственных земель)				
Генезис почвообразующих пород	Моренные, водно-ледниковые, озерно-ледниковые	Лессовые и лессовидные, водно-ледниковые	Водно-ледниковые, древнеаллювиальные, органогенные	
(су)глинистые	54,2	30,1	2,7	25,9
супесчаные	37,2	55,1	39,5	48,4
песчаные	6,9	11,3	47,4	20,3
торфяные	1,7	3,5	10,4	5,4
Агротехнологическое и мелиоративное состояние земель				
Эродированность, %	11,2	7,7	4,5	9,4
Заболоченность, %	55,1	33,5	64,3	42,4
Завалуненность, %	49,1	38,8	7,1	26,6
Контурность, га	5,4	16,4	15,9	11,6

Высокий удельный вес заболоченных почв и общая повышенная увлажненность территории (гидротермический коэффициент 1,7) приводит к вымоканию посевов озимых зерновых культур и задержкам сроков сева яровых. Средний размер контура на пашне составляет 5,4 га при среднереспубликанском значении 11,6 га.

2. *Центральная почвенно-экологическая провинция.* Основными почвами в этой зоне являются дерново-подзолистые супесчаные (55,1 %) и

дерново-подзолистые суглинистые (30,1 %), развивающиеся на лессах и лессовидных суглинках. Средний размер контура пашни составляет 16,4 га. В отличие от северной (Поозерье) и южной (Полесье) в центральной провинции преобладают пахотные земли с кадастровой оценкой плодородия почв выше 30 баллов (71 район Беларуси). Для этой провинции типичен заметно денудированный, более древний по сравнению с севером ледниковый рельеф с развитой системой краевых возвышенностей и платообразных равнин.

В пределах возвышенностей Белорусской гряды характерно чередование четко выраженных гряд и пологих увалов, расчлененных глубокими ложбинами стока и речными долинами. Склоны, обращенные к этим ложбинам и долинам, имеют наибольшую крутизну, в связи с чем к ним тяготеют ареалы проявления водной плоскостной эрозии. В то же время водораздельные пространства часто представлены пологоволнистыми и даже платообразными вершинами, плоскими поверхностями крупных гряд, холмов и увалов и выровненными территориями (равнинами), где эрозия менее выражена.

В целом же распространение в пределах этой зоны особенно эрозионно-неустойчивых почвообразующих пород, какими являются лессы и лессовидные суглинки и супеси, благоприятствует формированию достаточно высокого эрозионного потенциала, проявляющегося в отдельных случаях в максимальной степени (например, в Мстиславском районе Могилевской области около 60 % площади пахотных земель эродировано).

3. Южная почвенно-экологическая провинция. В Белорусском Полесье на пашне резко преобладают песчаные (47,4 %) и супесчаные (39,5 %) почвы. Достаточно велика и доля осушенных торфяно-болотных почв – 10,4 %. Преобладание легких по гранулометрическому составу, а также осушенных торфяно-болотных почв обуславливают развитие процессов ветровой эрозии.

Общая площадь дефляционноопасных пахотных земель в Гомельской области достигает 360 тыс. га, в Брестской – 345 тыс. га. Максимальное количество пыльных бурь, зафиксированных в Беларуси, и самая высокая их продолжительность приходится на Белорусское Полесье. Опасность развития водной эрозии минимальна.

В целом же совместное действие эрозионных и дефляционных процессов уже стало в отдельных районах ощутимым, осложняющим экологическую ситуацию фактором. Средний размер контура на пахотных землях составляет 15,9 га, однако, в пределах одного поля размер контуров почв нередко не превышает 1 га, что свидетельствует о выраженной неоднородности почвенного покрова.

Таблица 3.2.

Почвенно-экологические районы и их характеристика

Наименование почвенно-экологических районов	Гранулометрический состав почв				Заболенность, %	Эродированность, %	Завалунность, %	Контурность, %	Индекс агроэкологической неустойчивости
	суглинистые	супесчаные	песчаные	торфяные					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. моренных гряд северной части Беларуси	49	41	9	1	51	21	18	4,7	0,77
2. почв на озерно-ледниковых суглинках и глинах	67	28	4	1	72	7	6	9,2	0,89
3. равнин Поозерья	44	43	10	3	57	8	9	5,9	0,84
4. Нарочано-Вилейской и Верхне-Березинской равнин	6	76	13	5	45	4	63	10,5	0,88
5. эродированных почв Оршанско-Могилевского плато	80	19	1		30	19	1	19,8	0,92
6. Ошмянской и Минской гряд	53	41	4	2	31	14	35	16,1	0,89
7. Лидской равнины	3	64	29	4	32	5	50	14,1	0,91
8. Гродненской, Волковысской и Слонимской гряд	2	88	10	-	23	9	64	19,5	0,91
9. Новогрудской возвышенности и Копыльской гряды	35	58	5	2	29	12	18	23,6	
10. легких заболоченных и болотных почв Предпоlesья	-	49	33	18	58	2	11	19,0	0,97
11. Центрально-Березинской равнины	5	74	18	3	54	2	19	16,3	0,97
12. Оршанско-Могилевской равнины	4	67	28	1	43	2	1	17,4	0,98
13. сглаженных моренных равнин Предпоlesья	2	46	47	5	61	5	8	15,1	0,97
14. моренных равнин и возвышенностей	1	49	43	7	43	7	12	18	0,90
15. Загородья	2	45	49	4	80	4	1	13	0,87
16. заболоченных песчаных и низинных торфяно-болотных почв	—	14	65	21	67	3	—	14,3	0,96
17. перегнойно-карбонатных и дерновых заболоченных почв	30	29	24	17	71	1	—	12,9	0,94
18. моренных гряд и возвышенностей юго-восточной Беларуси	5	57	34	4	33	5	1	24,9	0,98
19. левобережья р. Сож	0,5	31,8	64,9	2,8	37,8	3	—	21,7	

Неоднородность почвенного покрова обусловлена разным уровнем залегания грунтовых вод, их химическим составом, в отдельных случаях пестротой почвообразующих и подстилающих пород, процессами ветровой эрозии. Чередующиеся здесь внутри полей и рабочих участков почвы часто резко различаются водно-физическими и агротехнологическими свойствами.

Выполненное специалистами Белорусского НИИ почвоведения и агрохимии почвенно-экологическое районирование территории с оценкой степени пригодности почв для возделывания различных сельскохозяйственных культур позволяет выделить в республике 5 зон специализации сельскохозяйственного производства.

Выделенные зоны специализации преимущественно совпадают с границами почвенно-экологических провинций, однако центральная провинция, где сконцентрированы хозяйства с высокими баллами плодородия почв и заметно различается тепло- и влагообеспеченность, разделена на зоны с развитым льноводством и свекловодством.

1. *Молочно-мясное и мясо-молочное скотоводство, свиноводство и льноводство.* Эта зона соответствует северной почвенно-экологической провинции. В целом здесь имеется достаточно почв для возделывания основных сельскохозяйственных культур кроме сахарной свеклы, для которой не хватает активных температур. Из-за повышенной влагоемкости (цветная вклейка 17) площади почв, пригодных для озимых зерновых культур в полтора раза меньше, чем для яровых культур. Так, площадь почв, пригодных для возделывания озимой пшеницы и тритикале, здесь составляет только 40 %, озимой ржи – 46 %, но наличие почв, пригодных для возделывания яровых зерновых культур, составляет 73–83 %. Имеется достаточно площадей почв, пригодных для возделывания рапса, льна и картофеля. Преобладание суглинистых, часто переувлажненных почв способствует развитию травосеяния и скотоводства.

2. *Молочно-мясное и мясо-молочное скотоводство, свиноводство с развитым льноводством и картофелеводством.* Эта зона приурочена к центральной почвенно-экологической провинции и характеризуется более разнообразным почвенным покровом, высокой обеспеченностью пригодными почвами под озимые культуры, картофель и кукурузу.

Во второй зоне почв, пригодных для возделывания озимой ржи – 59 %, озимых пшеницы и тритикале – 45 %, ячменя, пшеницы и зернобобовых – 68 %, овса – 87 %. Условия для возделывания картофеля и кукурузы более благоприятные, чем в первой зоне. В западных и юго-западных районах зоны имеются свеклопригодные почвы, однако, воз-

можная площадь посева их недостаточна для промышленного свекло-сеяния.

3. *Высокоразвитое мясо-молочное и молочно-мясное скотоводство, свиноводство и свекловодство.* Данная зона занимает западную часть центральной почвенно-экологической провинции и Кобринско-Ивановский (15) район из южной провинции. Здесь достаточно почв для возделывания всех сельскохозяйственных культур, в том числе и высокотребовательных к условиям произрастания. В третьей зоне возможная площадь посева требовательных зерновых культур уменьшается. Одновременно увеличивается площадь пригодных почв под картофель, кукурузу и рапс. Возможная площадь посева сахарной свеклы здесь самая высокая среди всех зон республики, что и подтверждает ее специализацию.

4. *Мясо-молочное и молочно-мясное скотоводство, свиноводство и картофелеводство.* Эта зона в основном соответствует южной (Полесской) почвенно-экологической провинции. Она характеризуется менее благоприятными почвенными условиями для возделывания требовательных культур (пшеницы, рапса, сахарной свеклы, льна). На заболоченных и маломощных торфяно-болотных почвах необходимо возделывать многолетние травы, адаптированные к таким почвам, что наряду с наличием естественных луговых земель будет способствовать развитию мясо-молочного скотоводства.

5. *В особую пятую зону* выделены хозяйства, примыкающие к областным и крупным районным центрам республики, которые должны специализироваться на производстве молока, мяса птицы, овощей и картофеля.

Большое значение имеет учет степени пригодности почв при формировании рациональной структуры посевных площадей. Сельскохозяйственные культуры, благодаря своим биологическим особенностям, по-разному реагируют на свойства тех почв, на которых они возделываются. На основании исследований, проведенных в Институте почвоведения и агрохимии, определены почвы, пригодные для возделывания основных сельскохозяйственных культур, районированных в республике, и установлены площади пригодных почв для этих культур как по административным и почвенно-экологическим районам, так и по зонам специализации сельского хозяйства. Так, площадь пригодных для возделывания ячменя почв составляет по 1-4-ой зонам 73, 68, 51 и 28 %, картофеля – 59, 74, 85 и 53 %, сахарной свеклы – 0, 20, 42 и 16 %.

Наибольшие потери урожайности сельскохозяйственных от засушливых условий наблюдаются на песчаных и супесчаных, подстилаемых пес-

ками почвах, а также деградированных торфяно-болотных почвах южной и особенно юго-восточной частей Беларуси. В засушливые годы резко возрастает опасность проявления ветровой эрозии (пыльных бурь). В этом отношении наиболее сильно страдают почвы четвертой зоны специализации.

4. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

Плодородие является важнейшим и неотъемлемым свойством почвы, от которого зависит жизнь растений и животных. Почва является *незаменимым истощаемым относительно возобновимым природным ресурсом*. Ни сегодня, ни в обозримом будущем нет другого природного ресурса, который мог бы заменить почву в полной мере в качестве средства сельскохозяйственного производства. Охрана таких возобновимых природных ресурсов как почва должна осуществляться путем рационального их использования и расширенного воспроизводства. Воспроизводство плодородия – совокупность природных почвенных процессов и целенаправленных антропогенных воздействий для поддержания эффективного плодородия почв на уровне, приближающемся к потенциальному плодородию. Однако правила рационального использования почвенных ресурсов соблюдаются далеко не всегда, в итоге почва теряет свое плодородие.

Важнейшими свойствами почв Беларуси, определяющими ряд соподчиненных свойств и, в конечном счете, плодородие, являются гранулометрический состав, структурность, водно-физические свойства, тепловые свойства, содержание органического вещества, поглонительная способность почв, биологическая активность почв.

Различия в плодородии почв Беларуси в значительной мере обусловлены гранулометрическим составом, который определяет тепловой, воздушный, водный и пищевой режимы. Различия в гранулометрическом составе почв наряду с климатическими особенностями определяют существенные различия в нашей стране, например, по срокам достижения почвой физической спелости между легкими почвами юга страны и тяжелыми почвами Витебщины. Сроки сева яровых культур в этих регионах могут отличаться на 2–3 и более недель. В принципе Беларусь относится к зоне легких почв, почти половину интенсивно используемых земель занимают супеси, а еще почти четверть – пески, что затрудняет массовое получение высоких, на мировом уровне урожаев сельскохозяйственных культур. Основным путем ликвидации этого недостатка является систематическое окультуривание, особенно путем внесения органических удобрений для повышения поглонительной способности почв и

улучшения пищевого и водно-воздушного режима. При этом почва обогащается органическим веществом и для почв Беларуси актуальной задачей является повсеместное достижение содержания гумуса 2–3 % за счет органических удобрений, послеуборочных остатков и т. п.

Плодородие почв Беларуси существенно зависит также от емкости поглощения почв и состава поглощенных катионов, которыми определяется реакция среды, дисперсность, способность к агрегированию, водопрочность. Поглощенные водород, алюминий, железо разрушительно действуют на структуру почв и поглощающий комплекс в целом, а «кальций» называют стражем плодородия. В почвах Беларуси целенаправленным окультуриванием за последние полвека существенно улучшен состав поглощающего комплекса, на 90 % сельскохозяйственных земель кальций доминирует в ППК. Основную роль в этом процессе сыграло широкомасштабное известкование кислых почв. Величина обменной поглотительной способности в почвах Беларуси сравнительно невелика: 4–7 смоль/кг на песчаных, 5–10 – на супесчаных, 8–15 смоль/кг на суглинистых почвах. Увеличить поглотительную способность можно только за счет органических коллоидов, для чего необходимо систематическое внесение органических удобрений в дозах, рассчитанных на расширенное воспроизводство гумуса.

Многочисленные исследования ученых, в том числе белорусских (Карягина Л.А., 1983 г.), показали, что грамотное применение органических, минеральных, известковых, бактериальных удобрений существенно улучшает биологический режим почв, повышая количество и долю бактерий в составе микрофлоры, активизируя активность инвертазы, каталазы, уреазы и многих других ферментов, усиливая азотфиксацию, нитрификацию и многие другие процессы.

Плодородие почв имеет экологическую конкретность. Главный парадокс плодородия заключается в том, что все почвы обладают плодородием, и в то же время нет неплодородных земель. Различные почвы не могут быть одинаково хороши для всех растений. Например, люпин хорошо растет только на кислых почвах, а люцерна предпочитает нейтральные почвы. Для зерновых культур оптимальны тяжелые структурные почвы, а картофель, тыква и черешня лучше растут на легких почвах. При проведении кадастровой оценки сельскохозяйственных земель, например, почвы Беларуси были дифференцированы по пригодности возделывания 13 культур либо групп культур, различающихся по своей требовательности к почвенным условиям. Так что одна и та же почва для одних растений может быть плодородной, для других – малоплодородной.

В этой особенности почвенного плодородия заложена основа рационального, т. е. в наибольшей степени отвечающего почвенным условиям, размещения сельскохозяйственных растений, направленного на оптимальную специализацию сельскохозяйственного производства. Изучение почвенного покрова, почвенное районирование позволяют выделить территории с более благоприятными природно-почвенными условиями для разных направлений сельского хозяйства, для разных культурных растений.

Для эффективного использования почвенного плодородия, получения максимальных урожаев необходимо достигать единства между сельскохозяйственными растениями и культурными почвами. Те или иные свойства почв могут иметь положительную или отрицательную роль в формировании почвенного плодородия. Культурные биоценозы участвуют в формировании и в поддержании плодородия почв.

В настоящее время уровень эффективного плодородия почв Беларуси можно оценить как средний. В 2016 году с 1 га пашни собрано 31,5 ц/га зерна (в рекордном 2015 году было 36,5), 9,4 ц/га льноволокна, 446 ц/га сахарной свеклы, 205 ц/га картофеля, 276 ц/га овощей, 12,4 ц/га семян рапса. На 1 жителя страны собрано 632 кг картофеля, 912 кг зерна, 178 кг овощей, произведено 121 кг мяса, 743 л молока, 402 штук яиц.

Таблица 4.1. Урожайность основных культур в Беларуси

	1995	2000	2010	2015	2016
Зерновые и зернобобовые	21,1	19,4	28,1	36,5	31,5
Льноволокно	6,2	4,8	7,0	10,1	9,4
Сахарная свекла	218	292	316	330	446
Рапс	6,5	7,1	12,3	15,7	12,4
Картофель	132	134	177	194	205
Овощи	135	134	208	245	276

В агроценозах к опад относятся пожнивные остатки и корни сельскохозяйственных культур, причем корни растений преобладают: у пшеницы – 85 %, гороха и кукурузы – 90, трав – 90–93 %. По характеру поступления и по объему годичного опада высокопродуктивные агроценозы Беларуси приближаются к биоценозам луговой степи, что не позволяет рассматривать агроценозы только как потребителей почвенного плодородия.

Внесение удобрений, применение различных мелиоративных и агротехнических приемов способствуют изменению почвенных свойств, приводят их в соответствие с экологией культурных растений. Такое изменение почв, их окультурирование есть особая антропогенная стадия развития почв.

Дерново-подзолистые и другие почвы Беларуси существенно меняются в процессе окультуривания. Плодородие почв с культурными биоценозами развивается вместе с развитием производительных сил. Каждому уровню развития производительных сил соответствует своя продуктивность агроценозов. Если полвека назад урожайность зерновых в 15 ц/га считалась очень высокой, то сейчас и 30 ц/га считается недостаточным (кроме песчаных почв). Обусловлено это тем, что объем биологического круговорота определяется интенсивностью сельскохозяйственного использования. Это важнейшая черта культурного почвообразовательного процесса, суть которого составляют такие нехарактерные для целинной почвы почвенные процессы как отчуждение питательных веществ с урожаем, ежегодное перемешивание пахотного слоя, ускоренная минерализация растительных остатков, внесение веществ с удобрениями и мелиорантами.

Комплексным показателем плодородия почв можно считать результаты кадастровой оценки сельскохозяйственных земель. Кадастровая оценка является составной частью земельного кадастра и проводится с целью получения по каждому участку сельскохозяйственных земель комплекса оценочных показателей, необходимых для реализации земельной политики государства. Она впервые была проведена в Беларуси в 1992–1997 годах по методике, разработанной институтами почвоведения и агрохимии и Белгипрозем, и откорректирована в 2006–2010 годах. В данной методике учтены все положительные моменты ранее проводимых бонитировки почв и экономической оценки земель. Кадастровая оценка земель является более совершенной, так как, во-первых, проводится не по землепользованиям, а непосредственно по участкам, во-вторых, учитывается большее количество факторов, влияющих на оценку земель.

Результаты кадастровой оценки являются устойчивыми во времени показателями, характеризующими сравнительное качество земель как средства сельскохозяйственного производства и предназначаются для дифференциации ставок земельного налога, первичного обслуживания рынка земли, решения хозяйственных задач по рациональному использованию сельскохозяйственных земель.

Кадастровая оценка является экономической по своему содержанию. В качестве предмета оценки выступают его плодородие (качество как орудие труда), технологические качества (качество как предмет труда), местоположение по отношению к пунктам переработки и реализации продукции (качество как пространственный операционный базис) и обобщающие экономические показатели оценки участка как средства производства. В качестве общего критерия оценки объективно выступает производительность труда в растениеводстве. Система показателей ка-

дастровой оценки рассчитана таким образом, что они могут использоваться как самостоятельно, так и для расчета более обобщенных характеристик, которые синтезируют все стороны качества земли как средства производства. Кадастровой оценкой предусмотрено получение следующих показателей:

Оценка плодородия – бонитет почв, бонитет по пригодности возделывания отдельных культур;

Оценка технологических свойств земельных участков – длина гона, удельное сопротивление, обобщенные поправочные коэффициенты к сменным нормам выработки на пахотные и непахотные работы;

Оценка местоположения – расстояние от земельных участков до внутрихозяйственных центров (фактическое и эквивалентное), расстояние от центральной усадьбы до внехозяйственных пунктов реализации продукции и баз снабжения (фактическое и эквивалентное), индексы транспортных затрат по отношению к лучшим условиям (внутрихозяйственных, внехозяйственных и совокупных);

Обобщающая (синтезирующая) оценка – индексы дифференциации нормативного чистого дохода по отношению к средним и худшим условиям республики, нормативный чистый доход, дифференциальный доход; совокупный балл кадастровой оценки земель; нормативная цена земли.

Общий балл кадастровой оценки – это балл, соответствующий баллу плодородия, обеспечивающему такой же по величине индекс дифференциации чистого дохода при фиксированных среднереспубликанских показателях оценки технологических свойств и местоположения.

Универсальная система устойчивых во времени показателей поучастковой кадастровой оценки земель является фундаментальной основой для решения в автоматическом режиме комплекса прикладных задач в сфере земельных отношений, управления земельными ресурсами, организации, планирования и управления сельскохозяйственным производством. В числе задач, решаемых на основе материалов кадастровой оценки земель, важнейшими являются: энергетическая оценка земель, определение ставок земельного налога, оптимизация размещения посевов сельскохозяйственных культур, определение нормативных затрат труда и других ресурсов на возделывание сельскохозяйственных культур, обоснование совершенствования зональной специализации сельхозпроизводства и государственной поддержки аграрных товаропроизводителей.

Основная задача денежной кадастровой оценки на несельскохозяйственных землях заключается в том, чтобы обеспечить рациональное ис-

пользование отведенных земель, установить размеры компенсации за недополучение продукции с отводимых площадей.

Денежная кадастровая оценка служит основой для исчисления земельного налога и арендной платы за землю. Главными задачами введения ежегодной платы за землю является обеспечение рационального использования и охраны земель экономическими методами, выравнивание экономических условий производства на разных по качеству землях, стимулирование предпринимательской деятельности и заинтересованности в повышении продуктивности сельскохозяйственных земель.

Средние результаты кадастровой оценки пахотных земель Беларуси представлены в таблице 4.1. Детальный анализ показателей кадастровой оценки свидетельствует о наличии значительной разнокачественности (табл. 4.2) пахотных и сельскохозяйственных земель. Так, если пахотные земли, плодородие которых оценивается в 25–35 баллов, занимают 46 % пашни, то на долю почв с баллом 20,1–25 приходится 16 %, а с баллом 20 и ниже – 8 %.

Таблица 4.1.

Средние результаты кадастровой оценки пахотных земель

Показатели	Беларусь	Области					
		Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
Исходный балл	51,1	42,9	59,2	41,7	51,0	52,0	56,0
Общий поправочный коэффициент	0,619	0,750	0,453	0,723	0,677	0,682	0,572
Балл плодородия	31,2	31,9	26,7	30,3	34,5	32,9	31,7
Средняя длина гона	505	562	377	583	472	532	533
Удельное сопротивление	50,3	45,4	55,4	46,1	48,9	50,4	52,9
Индекс нормативной себестоимости	1,00	0,94	1,19	1,00	0,90	0,94	0,96
Нормативный чистый доход, у.е./га	83	88	45	73	107	97	89
Дифференциальный доход, у.е./га	215	216	156	191	261	244	227
Общий балл	31,2	32,2	25,3	30,5	34,9	33,2	32,3

Почвы, оцениваемые в 20,1–25,0 баллов и особенно в 20 баллов и ниже, необходимо рассматривать как объект для дальнейшей оптимизации землепользования, так как использование их под пашню экономически невыгодно. Проектом Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь предусмотрено в порядке оптимизации землепользования

изъять 750 тыс. га пахотных земель для перевода их в другие земли. Более 70 % этих земель уже перепрофилировано.

Таблица 4.2.

Распределение площади пахотных земель по уровню плодородия

Группы по уровню плодородия (в баллах)	Площадь по республике	
	тыс. га	%
До 20	347,3	7,6
20,1-25,0	744,8	16,3
25,1-30,0	1055,6	23,1
30,1-35,0	1064,7	23,3
35,1-40,0	726,6	15,9

5. ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

Основным приемом повышения плодородия почв Беларуси является химическая их мелиорация. Термин «мелиорация» происходит от латинского «melioratio» – улучшение. Мелиорация представляет собой систему организационно-хозяйственных и технических мероприятий, имеющих целью коренное улучшение неблагоприятных природных условий для наиболее эффективного использования природных ресурсов и, особенно, земли. Обычно (Аношко В.С., 1974) выделяют два основных вида мелиорации: техническую и сельскохозяйственную. Когда говорят просто мелиорация, то обычно подразумевают гидротехническую мелиорацию.

Сельскохозяйственные мелиорации включают мероприятия по коренному улучшению почвенных условий для повышения продуктивности сельскохозяйственного производства. Обычно имеют в виду регулирование водно-физических свойств. Но по масштабам работ и частоте воздействия на почву их превосходят химические способы воздействия на почву с целью ее улучшения. Химическая мелиорация – система приемов химического воздействия на почву для улучшения ее свойств и повышения урожая.

Химические мелиорации можно разделить (Аношко В.С., 1974) на солеобогатительные и кислоторегулирующие. Солеобогатительные – мероприятия по увеличению содержания в почве необходимых питательных веществ, в первую очередь внесение органических и минеральных удобрений. Кислоторегулирующие – мероприятия по созданию благоприятной реакции почвенной среды. Сюда относятся известкование, гипсование, кислование.

Вопросы внесения удобрений и применения кислоторегулирующих мелиорантов изучаются в первую очередь агрономической химией, или просто агрохимией – одной из важнейших сельскохозяйственных наук. Агрономическая химия – наука о взаимодействии растений, почвы и удобрений в процессе выращивания сельскохозяйственных культур, о круговороте веществ в земледелии и использовании удобрений для увеличения урожая, улучшения его качества и повышения плодородия почв. Теоретическая основа агрохимии – изучение процесса питания растений и взаимодействия «почва-растение-удобрение».

Фактически это – химическая мелиорация, улучшение свойств почв химическими средствами. Часто в литературе под химической мелиорацией понимают только кислоторегулирующие ее виды, из которых в нашей стране развито только известкование кислых почв.

В целом питание растений и, как результат, образование органических веществ – является сложным физиологическим процессом преобразования энергии в клетках и применение удобрений – самое эффективное средство вмешательства человека в этот процесс. Главная задача агрохимии – управление круговоротом и балансом химических элементов в системе почва-растение с целью повышения урожаев или изменения их состава путем определения точных параметров круговорота всех биогенных элементов с учетом особенностей выращивания и специфики различных видов и сортов сельскохозяйственных растений при разных заданных уровнях продуктивности.

Роль средств химизации (агрохимических) особенно велика при интенсивных технологиях земледелия. Получение максимального экономически выгодного урожая базируется на использовании лучших сортов, обеспечении необходимых физических и химических свойств почв, комплексном применении средств химизации, своевременном и качественном выполнении всех агротехнических работ.

Минеральное питание – один из основных регулируемых факторов, используемых для целенаправленного управления ростом и развитием растений с целью создания высокого урожая хорошего качества. Регулирование других факторов роста – света, тепла, влаги – широко применяется в закрытом грунте. В полевых условиях изменять влажность можно при орошении или осушении. В аграрном производстве приходится, как правило, приспосабливаться к имеющимся условиям по солнечной радиации и осадкам, подбирая соответствующие культуры, сорта и приемы агротехники.

Главная задача земледелия – эффективное использование солнечной радиации для создания органического вещества. Уникальным аппаратом

для этого служит растение, содержащее хлорофилл. Наземные растения ежегодно извлекают из атмосферы 20 млрд. т углерода в форме CO_2 (1,3 т/га), а вся совокупность растений – 150 млрд. т. Ежегодно образуется 400 млрд. т новых органических веществ (из них 115 млрд. т – на суше), для чего используется 2 млрд. т азота и 6 млрд. т зольных элементов. Однако коэффициенты использования ФАР на создание органического вещества весьма низки – от 0,5 до 3 %. Максимально возможным считается КПД 28%.

Из основных факторов жизни растений человек может существенно влиять лишь на поступление веществ в растение. В практике – применение для этого средств химизации, то есть проведение химической мелиорации. С минеральным питанием в условиях недостатка и избытка элементов питания связано много важных и интересных эколого-физиологических проблем. Весьма важен строго дифференцированный подход к применению удобрений с учетом обеспеченности почв доступными формами элементов питания, особенностями питания различных сельскохозяйственных культур, других почвенно-климатических факторов для сбалансированного питания растения в целях получения высококачественной растительной продукции.

Для оценки потребностей сельскохозяйственных растений в питательных элементах широко используется баланс элементов питания – разность между приходом и расходом питательных веществ. Основные статьи прихода – с удобрениями, осадками, семенами, фиксация атмосферного азота, расхода – вынос с урожаями, выщелачивание, потери от эрозии, азота в газообразном виде. Известно, что для получения 3 т/га пшеницы требуется в среднем 110 кг N, 40 Р, 70 К, 30 т/га картофеля – соответственно 150, 60 и 270 кг. Естественно, что питательные элементы, затрачиваемые на формирование урожая, необходимо поставлять в почву и количество применяемых удобрений тесно коррелирует с урожаем. Рекордные урожаи в мире – 220 ц/га зерна кукурузы, 100 пшеницы, 145 риса можно получить только при высоких дозах внесения агрохимических средств. По прогнозу ФАО потребность мировая в минеральных удобрениях составляет в настоящее время не менее 300 млн.. т питательных веществ (170 N, 70 Р, 60 К). Мировое производство составляет 160–190 млн.. т. Органических удобрений вносится в мире 25 млрд. т.

Для обеспечения продовольствием растущего населения необходимо ежегодное увеличение продуктивности на 3–4 %. До 50 % прироста (по Минееву – 55%, по данным ученых США – 41%) урожая формируется за счет удобрений. Рост урожаев ведет к увеличению потребления питательных элементов, поэтому растет и потребность в удобрениях. Но уро-

жай растет лишь до определенного уровня удобрений, поэтому в целом в науке господствует подход, предусматривающий нахождение оптимальных доз конкретных средств химизации для данных условий. Производство мелиорантов, особенно минеральных удобрений, требует много энергии, поэтому они сравнительно дорогие и должны применяться лишь при окупаемости издержек прибавкой урожая.

Основная задача агрохимии – обеспечение максимальной отдачи от имеющихся ресурсов средств химизации. Важное значение имеют способы и время заделки, достаточное количество влаги. Так, в 1999 году была сравнительно низкая окупаемость удобрений, а в 2002 году – высокая. Применение NPK улучшает и качество урожая: белковость зерна, питательность корма, сахаристость и т.п. Окупаемость 1 кг NPK в условиях Беларуси составляет в среднем 6 кг зерна, 20 кг картофеля, 26 кг сахарной свеклы. Органические удобрения – важное звено системы химизации сельского хозяйства – обеспечивают примерно 20 кг зерна, 100 кг картофеля, 125 кг корней сахарной свеклы на 1 т навоза.

Применение удобрений выгодно с *экономической точки* зрения. Прибыль при оптимальных дозах составляет 1,2 руб. на 1 руб. затрат. Удельный вес затрат на удобрения – 15–20 % всех затрат (в современную эпоху – до 35 % и 35 % на энергоносители). Особенно высокая отдача от удобрений отмечается при низком уровне естественного плодородия почв.

В 1998 году в Беларуси внесено 942 тысячи тонн д.в. NPK (351 N, 134 P, 458 K). В 2015 году внесено 1102 тыс. тонн минеральных удобрений, в расчете на 1 га пашни 209 кг (83 N, 27 P, 99 K). Максимальное количество применялось в 2011 году – 313 кг/га д.в. (220 кг/га – все сельскохозяйственные земли). Есть значительные территориальные различия по уровню химизации земледелия, даже на уровне областей, от 149 кг/га в Витебской и 169 кг/га в Могилевской до 250 – в Гродненской. В стране производится 7,5 млн. т минеральных удобрений (0,86–0,18–6468), то есть значительная часть удобрений, особенно калийных, идет на экспорт. Внесено 50,9 млн. тонн органических удобрений, средняя доза – 6,8 т/га сельскохозяйственных земель и 10,3 т/га пашни. Произведено 288 тыс. га, внесено 1473 тыс. т CaCO_3 , или 5,1 т/га.

Важным звеном современной системы определения оптимальных доз удобрений и мелиорантов является введение поправочных коэффициентов на содержание элементов питания и другие свойства почв. Неуклонно повышается роль интенсивных технологий выращивания сельскохозяйственных культур, предусматривающих целый комплекс агротехнических мероприятий по получению высоких урожаев. Огромное значение в

Беларуси придается оптимизации реакции почвенной среды, что, в частности, способствует повышению эффективности удобрений.

При довольно высоком уровне разработанности основных положений химической мелиорации почв Беларуси на практике имеются большие неиспользованные резервы применения средств химизации. Причины недостаточно высокой эффективности удобрений – недооценка человеческого фактора, отсутствие сбалансированности (в Европе вносят 80–120 кг/га фосфора, или в 3–4 раза больше, чем в Беларуси, в Могилевской области в 2015 году внесено только 15 кг/га) и нужного ассортимента, наличие большого количества сильнокислых почв, неравномерность внесения удобрений, недостаточное теоретическое обоснование доз и т.п., недостаточная комплексность при применении средств химизации.

Применение агрохимических средств оказывает неоднозначное влияние на экологию. Часто оно может быть негативным при несоблюдении существующих рекомендаций. Возможно, например, загрязнение почв тяжелыми металлами при внесении удобрений. Неоднозначное влияние оказывают удобрения на поступление радионуклидов в культурные растения. Следует помнить, что почва – не возмещаемый компонент природы. Наличие таких явлений, как чрезмерное использование компостов из ТБО и ОСВ, зафосфаченных почв четко свидетельствует о необходимости оптимизации элементного состава почв и растений.

Ныне широко пропагандируется альтернативное земледелие, предусматривающее внесение только органических удобрений и борьбы с вредителями, болезнями и сорняками лишь агротехническими и биологическими методами и отказ от минеральных удобрений в целях снижения экологической нагрузки. Это очень сомнительно на данном этапе, так как существенно удорожает стоимость получаемой продукции и снижает общий сбор.

Большие перспективы, особенно для студентов специальности ГИС, имеет точное земледелие, то есть дифференцированное в пределах отдельно обрабатываемых участков внесение средств химизации.

Насущной задачей в земледелии является расширение использования комплексных и медленнодействующих удобрений. Актуально совершенствование теоретической базы агрохимии, учет особенностей новых видов и сортов растений в потреблении элементов питания. Необходимы регулярные агрохимические обследования почв, комплексность применения средств химизации, мониторинг, совершенствование методов прогнозирования эффективности удобрений, проведение диагностики, установление ПДК, совершенствование градаций обеспеченности почв элементами питания.

6. ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

6.1. Химический состав растений

Ткани растений состоят из воды и сухого вещества, включающего органические и минеральные соединения. Химический состав растений – содержание в них органических и минеральных веществ, а также отдельных химических элементов – обычно выражают в процентах от массы сухих веществ (иногда массы всего растения в свежем состоянии – “сырой массы”). Реже используется измерение в миллиграммах (мг) на 1 кг сухого или сырого вещества, а микроэлементов – в мг на 1 г или 1 кг.

Большинство сельскохозяйственных культур содержит в вегетативных органах 70–95 % воды и 5–30 % сухих веществ. В созревших семенах сухие вещества занимают до 85–90 %, вода – 10–15 %. Так, зерно хлебных злаков и бобовых содержит 85–88 % сухого вещества и 12–15 % воды, семена масличных культур – соответственно 90–93 и 7–10 %. В зеленой массе злаковых, бобовых и других культур большой удельный вес занимает вода – 75–85 %, а сухое вещество только 15–25 %, клубни картофеля, корни сахарной свеклы состоят из воды на 75–80%; корнеплоды столовой свеклы, моркови – на 85–90, капуста – на 90–93, плоды томатов, огурцов содержат 92–96 % воды и только 4–8 % сухого вещества.

По мере старения растений запас воды и содержание падает. Функции воды – предохранение растений от перегрева, растворение различных соединений, поглощение и перемещение веществ, гидратация ионов. Вода обуславливает тургор растений (давление жидкости внутри клетки на ее оболочку), интенсивность и направленность биохимических и физиологических процессов. Вода задерживает инфракрасное излучение (нужное для фотосинтеза) и пропускает ультрафиолетовое. Вода – важнейший фактор формирования урожая.

В составе сухого вещества растений 90–95 % приходится на органические соединения и 5–10 % на минеральные соли. Основные органические вещества представлены в растениях белками и другими азотистыми соединениями, жирами, крахмалом, сахарами, клетчаткой, пектиновыми веществами (табл. 6.1).

Качество сельскохозяйственной продукции определяется содержанием органических и минеральных соединений. Так, качество зерна зерновых культур зависит от количества белков, клейковины и крахмала. Из зерновых больше белков содержит зерно пшеницы и меньше – ячменя пивоваренных сортов. Хлебопекарные свойства зерна пшеницы зависят от количества и качества клейковины. В зерне бобовых культур содержа-

ние белков значительно больше, чем у зерновых, но у бобовых меньше крахмала. Масличные культуры (подсолнечник, соя, рапс, лен) оценивают по содержанию жиров в семенах, а качество растительных жиров (масел) в свою очередь зависит от соотношения в них насыщенных и ненасыщенных жирных кислот.

Таблица 6.1. Химический состав сельскохозяйственной продукции, %

Культура	Вода	Белки	Крахмал, сахара	Клетчатка	Жиры	Зола
Пшеница (зерно)	14	16	62	2,5	2,0	2,0
Рожь (зерно)	14	12	67	2,0	2,0	2,0
Ячмень (зерно)	14	9	65	5,5	2,0	3,0
Гречиха (зерно)	14	9	60	9,0	3,0	2,0
Горох (зерно)	14	20	53	5,5	1,5	3,0
Лен (семена)	12	23	16	8,0	3,5	4,0
Картофель (клубни)	78	1,3	17	1,0	0,1	1,0
Сахарная свекла (корнеплоды)	75	1	20	1,0	0,1	0,8
Кормовая свекла (корнеплоды)	87	0,8	9	1,0	0,1	1,0
Клевер (зеленая масса)	75	3	10	6,0	0,8	3,0
Ежа сборная (зеленая масса)	70	2,1	10	10,5	1,2	2,9
Морковь (корнеплоды)	86	0,7	9	1,0	0,2	1,0
Лук репчатый (луковицы)	85	1,5	12	0,8	0,1	0,5
Свекла столовая (корнеплоды)	88	0,8	6,3	0,9	1,2	0,8

На количество и качество органических веществ в растениях большое влияние оказывают условия их питания. Достаточное содержание азота в почве увеличивает образование белков и аминокислот в растениях. Растительные белки состоят из 20 аминокислот и 2 амидов. Вместе с азотистыми небелковыми соединениями они составляют сырой протеин. Фосфорные и калийные удобрения способствуют накоплению углеводов — сахаров, крахмала, клетчатки и жиров. Улучшают качество урожая микроудобрения.

Живые растения и сухая растительная масса существенно различаются по элементному составу, так как при потере воды происходят и некоторые изменения органического вещества (окисление жиров, распад ферментов и др.). Средний химический состав сухого вещества растений (%): углерод—45, кислород — 42, водород — 6,5, азот — 1,5, зольные элементы (остающиеся при сжигании растений элементы — калий, кальций, магний, фосфор и др.) — 5. В живом растении соотношение элементов другое (% к весу свежей массы): кислород—70, углерод—18, водород —

10,5, кальций — 0,5, азот — 0,3, калий — 0,3, кремний — 0,15, фосфор — 0,07, магний — 0,07, сера — 0,05, хлор — 0,04, натрий — 0,02, алюминий — 0,02, железо — 0,02, марганец—0,007, стронций—0,001.

Всего в растениях обнаружено более 70 химических элементов, 20 из них относятся к необходимым, так как без них растения не могут жить, они *не заменимы другими элементами*. Это *кислород, углерод, водород, азот, фосфор, калий, кальций, магний, натрий, сера, железо, хлор, марганец, бор, цинк, медь, молибден, кобальт, ванадий, йод*. Еще 12 элементов считаются условно необходимыми, потому что способны иногда положительно влиять на растения. К ним относятся *кремний, литий, стронций, кадмий, селен, серебро, свинец, фтор, хром, никель, алюминий и титан*.

Содержание кислорода, углерода, водорода, фосфора, калия, кальция, азота, магния, серы и железа в растениях может колебаться от нескольких процентов до сотых долей процентов сухого вещества. Эти элементы называются **макроэлементами** (табл. 6.2). Элементы, содержание которых измеряется тысячными и сотыми долями процента называются **микроэлементами**. К ним относятся бор, марганец, медь, цинк, молибден, кобальт и ванадий. Химические элементы, встречающиеся в растениях в еще меньших количествах, чем микроэлементы, называются **ультрамикроэлементами**.

Кислород, углерод и водород – основные элементы, из которых построены углеводы, жиры, белки и другие органические вещества растений. **Азот** входит в состав важнейших соединений – аминокислот, белков, нуклеиновых кислот, хлорофилла, витаминов группы В и др. недостаток азота выявляется по слабому образованию хлорофилла. Азот способствует росту вегетативной массы.

Таблица 6.2. Содержание основных элементов питания в растениях

Культуры	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
Пшеница (зерно)	2,50	0,85	0,50	0,15	0,07
Пшеница (солома)	0,50	0,20	0,90	0,10	0,28
Горох (семена)	4,50	1,00	1,25	0,13	0,09
Картофель (клубни)	0,32	0,14	0,60	0,06	0,03
Лен (семена)	4,00	1,35	1,00	0,47	0,27
Лен (соломка)	0,62	0,42	0,37	0,20	0,69
Свекла сахарная (корни)	0,24	0,08	0,25	0,05	0,06
Капуста (кочаны)	0,33	0,10	0,35	0,03	0,07
Томаты (плоды)	0,26	0,07	0,32	0,06	0,04
Травы (сено луговое)	0,70	0,70	1,80	0,41	0,95

Для пшеницы, гороха, льна и трав — в процентах от сухого вещества, для других культур — на сырую

массу.

Фосфор играет важную роль в обмене веществ и энергии. Энергия аккумулируется в виде АТФ и т.п., стимулируя рост растений. Недостаток фосфора сказывается на развитии репродуктивных органов. **Калий** важен для синтеза и передвижения углеводов в растениях, повышает водоудерживающую способность тканей и устойчивость растений. **Кальций** важен для фотосинтеза, усвоения азота, участвует в формировании клеточных оболочек, важен для корней; не может реутилизироваться. **Магний** входит в состав хлорофилла, активирует окислительно-восстановительные процессы и передвижение фосфора.

Химический состав растений непостоянен в течение вегетации. В первые фазы роста и развития поглощение минеральных элементов однолетними* культурами значительно опережает синтез ими органических веществ. Например, яровая пшеница к фазе колошения поглощает 97–100 % минеральных элементов, но создает лишь около 60 % органических веществ урожая. У картофеля максимальное поглощение элементов минерального питания отмечается в июле, у сахарной свеклы—в августе. Растения как бы создают запас минеральных элементов для дальнейшей работы всего фотосинтетического аппарата. Во второй половине вегетации растения частично теряют некоторые элементы, прежде всего калий. Потери элементов объясняются отмиранием и опаданием старых листьев, а потери калия – еще и вымыванием дождями из надземных органов.

Знание химического состава растений имеет большое практическое значение для организации правильного питания растений и получения растениеводческой продукции заданного качества.

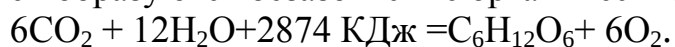
6.2. Особенности питания растений

Питание растений — это процесс поглощения и усвоения ими питательных элементов. Благодаря питанию растений происходит круговорот веществ и энергии, который связывает мир минеральной, неживой природы с миром живых организмов. Д. Н. Прянишников писал: “Поглощение ионов и солей, включение их в метаболизм и круговорот обмена веществ составляет сущность питания растений”. Знание закономерностей и особенностей питания растений позволяет правильно выбирать виды и формы удобрений, рассчитывать дозы их внесения, разрабатывать системы удобрения культур, природоохранные мероприятия.

В живой природе различают два типа питания – *гетеротрофный* и *автотрофный*. При гетеротрофном типе питания, характерном для жи-

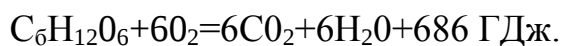
вотных организмов, грибов и микробов, используются белки, жиры, углеводы, иные сложные органические соединения, выработанные другими организмами. Автотрофы – зеленые растения и некоторые микроорганизмы— способны питаться исключительно неорганическими (минеральными) веществами. Они в отличие от других организмов, используя энергию солнечного света, могут строить свое тело, создавая из низкомолекулярных соединений (CO_2 , H_2O) и минеральных солей сложные органические соединения. Все необходимые для питания элементы растения получают через листья и корни – из воздуха и почвы. Поэтому различают воздушное и корневое питание растений.

Воздушное питание состоит в усвоении зеленым растением, главным образом листьями, углекислого газа с помощью световой энергии. В процессе фотосинтеза растения усваивают углекислый газ (CO_2) и образуют органические соединения (углеводы, белки, жиры), содержащие восстановленный углерод. Для восстановления углерода они используют водород воды, при этом выделяя в атмосферу свободный (молекулярный) кислород. Источником энергии при фотосинтезе служит солнечный свет, поглощаемый хлорофиллом, который не рассеивается в виде тепла, а преобразуется в химическую энергию. Таким образом, в процессе фотосинтеза из углекислоты воздуха и воды почвы при участии солнечных лучей образуются безазотистые органические вещества (углеводы).



Простые углеводы используются растением для синтеза сложных: сахарозы, крахмала и клетчатки $(\text{CH}_2\text{O})^{6n}$, а также белков, жиров, органических кислот и т. д.

Одновременно с образованием органических веществ в растениях происходит их *распад в процессе дыхания*. Сущность дыхания состоит в окислении углеводов кислородом. Этот процесс противоположен фотосинтезу. Если фотосинтез сопровождается поглощением энергии, то *при дыхании происходит освобождение энергии*. При дыхании расходуется примерно 20 % органического вещества, созданного во время фотосинтеза. Дыхание проходит по следующей схеме:



Выделяющаяся при дыхании энергия используется в растениях на синтез более сложных органических веществ, на поглощение корнями питательных элементов и воды из почвы и передвижение их к листьям, а от них—к растущим частям: точкам роста, цветкам, семенам, клубням и т. д. В образовании органических соединений как источник энергии участвует аденозинтрифосфорная кислота (АТФ).

В обычных условиях растения используют не больше 2—3 % солнечной энергии. Поэтому одной из задач земледелия является *увеличение фотосинтетической деятельности* возделываемых культур. Этому способствуют увеличение листовой поверхности и удлинение периода ее жизнедеятельности, оптимизация питания растений, выведение более продуктивных сортов и разработка новых технологий возделывания.

Из воздуха растения поглощают не только углекислый газ, но и азот (бобовые культуры), а также легкорастворимые соли. Эта их способность используется при внекорневых подкормках, а также обработке средствами защиты растений.

При **корневом питании** растения поглощают корнями минеральные элементы и включают их в обмен веществ между растением и внешней средой. Поступление элементов через корни, их передвижение и усвоение тесно связаны с фотосинтезом, дыханием, другими биохимическими процессами и требуют затрат энергии. При этом растения обладают избирательной способностью поглощения элементов питания.

Корнями растения усваивают ионы (катионы и анионы) из почвенного раствора, а также из почвенных коллоидов. При этом азот поглощается в виде анионов NO_3^- и катионов NH_4^+ (бобовые способны усваивать из атмосферы и молекулярный азот). Фосфор и сера поглощаются в форме анионов HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} ; калий, кальций, магний, натрий, железо – в виде катионов K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Fe^{3+} , микроэлементы – в виде анионов и катионов. Кроме этих элементов корни растений способны поглощать из почвы CO_2 (до 5 % от общего его потребления), а также аминокислоты, витамины, ферменты и некоторые другие растворимые органические вещества.

Корневые системы растений существенно различаются по строению, форме, распределению в почве и поглотительной способности. Так, по данным Н. А. Качинского, масса корней в условиях нечерноземной зоны достигала у овса 28 % от надземной массы, красного клевера – 69, на западно-предкавказском черноземе у кукурузы – 16, озимой пшеницы – 70, люцерны – 166 % веса надземной части растения.

У большинства культурных растений корни проникают на глубину до 2 м, но их основная масса располагается в слое почвы на глубине 30–50 см. Интенсивность развития корневой системы в значительной степени зависит от обеспеченности почвы питательными элементами. В бедных почвах развивается более мощная корневая система в ущерб урожаю.

По форме корневые системы растений могут быть стержневыми или мочковатыми. Поверхность корней, поглощающая элементы питания, достигает больших размеров. Например, у ячменя общая поглощающая по-

верхность корней и корневых волосков на одном гектаре достигает площади 200–300 га. Корень состоит из корневого чехлика, зоны деления, зоны растяжения, зоны корневых волосков. Наибольшей способностью к поглощению обладают корневые волоски молодых корней. На 1 мм² корня может располагаться 300–400 корневых волосков. У зерновых они бывают длиной 4–5 мм, у мятлика лугового 10–12 мм.

Корневые волоски обычно живут несколько суток и по мере старения отмирают. Корни не только поглощают питательные элементы из почвы, в них происходит также синтез органических соединений (аминокислот, белков), которые используются самой корневой системой и частично поступают в надземную часть растения.

Движение питательных элементов можно разделить на *три этапа*: переход ионов из твердой части почвы в почвенный раствор и передвижение их к поверхности корней; проникновение ионов через цитоплазматическую мембрану в клетку корня и передвижение их по корням в надземные органы, растений.

Скорость передвижения питательных элементов в почве зависит от свойств почвы и поглощаемых ионов.

К корням растений ионы питательных элементов поступают либо с потоком воды, либо диффузионно, т. е. благодаря проникновению молекул одного вещества в другое при непосредственном соприкосновении (или через пористую перегородку), обусловленному тепловым движением молекул. Установлено, что при высокой концентрации ионов в почвенном растворе они поступают к корням с потоком раствора, при низкой насыщенности почвенного раствора ионами и высокой потребности в них растений ионы передвигаются к корням диффузией. Фосфор и кальций доставляются к растениям в основном диффузией, а кальций и магний - с током почвенного раствора. Нитраты передвигаются в почве быстрее, чем фосфаты, и поглощаются интенсивнее: если фосфаты поглощаются в радиусе 0,1 см от корня, то нитраты - в радиусе 1 см.

В соответствии с *современными представлениями* питательные элементы в растительную клетку поступают через цитоплазматическую мембрану, или плазмалемму. Цитоплазматическая мембрана состоит из двух слоев фосфолипидов, которые имеют полярные “головки” – гидрофильные группы и неполярные “хвосты” – гидрофобные группы. В определенных участках плазмалеммы встроены белки-переносчики. Из белков построены поры и каналы в мембране. Часть белков представлена ферментами. У различных организмов строение и состав мембраны, или плазмалеммы, неодинаковы. Даже в одной клетке мембраны бывают различные: цитоплазматические, вакулярные, хлоропластные и др.

Мембрана очень динамична – она может изгибаться, разрываться и снова соединяться; на поверхности она несет заряды, которые могут изменяться, что обеспечивает проникновение в клетку катионов и анионов; через поры, каналы (плазмодесмы) мембраны проникают вода и ионы; проницаемость мембраны зависит от генетических свойств клетки и внешних условий. Изменение зарядов на цитоплазме клетки происходит благодаря белковым веществам, которые по своей природе амфотерны. Растения предпочитают брать пищу из почвенного раствора слабой концентрации. Для нормального их развития достаточно, если в 1 л содержится по 20–30 мг азота и калия, 10–15 мг фосфора, 1–2 мг бора и 5–7 мг марганца.

Положительно заряженные участки мембраны имеют группы H^+ , а отрицательно – OH^- , которые способны обмениваться на анионы и катионы почвенного раствора. Обмен связан не только с амфотерными свойствами белков цитоплазмы, но и с процессами дыхания. Выделяемая при этом корнями H_2CO_3 распадается на H^+ и HCO_3^- . Обменным фондом служат также органические кислоты, образующиеся в растениях и выделяемые на поверхность клетки. Наконец, процессы обмена катионов и анионов между корнями и почвенными коллоидами происходят при физико-химическом обмене (поглощении).

6.3. Влияние внешних условий на поступление питательных элементов в растение

Поглощение растениями питательных элементов зависит от свойств почвы, ее водно-воздушного и температурного режимов, освещенности и других условий внешней среды. Главное условие нормального питания растений – **наличие питательных элементов.**

Элементы питания содержатся в почвенном растворе, органических веществах и в твердой минеральной фракции почвы. Легко доступны для растений питательные элементы почвенного раствора, а также почвенных коллоидов. Питательные элементы в недоступной форме при определенных условиях становятся доступными. Например, часть азота, фосфора и серы гумуса превращается в доступные соединения в результате минерализации. Труднодоступные соединения трехкальциевого фосфата в кислой среде почвы переходят в более доступные формы. С другой стороны, часть хорошо усвояемых элементов питания может, наоборот, переходить в формы, не доступные для растений. Например, легко доступный аммонийный и нитратный азот превращается микроорганизмами в недоступные (органические) формы.

Условия питания растений должны учитываться при разработке систем удобрения культур (определении доз, сроков, форм и способов внесения органических и минеральных удобрений).

Одно из важнейших условий питания растений – **реакция почвы**. Оптимальной реакцией почвы для большинства растений считается слабокислая и реже близкая к нейтральной – pH солевой вытяжки 5,6–6,5. Однако есть растения, лучше растущие на почвах с кислой (люпин) или нейтральной (люцерна) средой.

Реакция почвенного раствора определяется не только свойствами почвы, но и влиянием растений. Растения поглощают элементы питания избирательно: одних – больше, других – меньше. При внесении в почву аммиачной селитры (NH_4NO_3) растения больше усваивают азота в форме NH_4 и меньше в виде NO_3 . При применении сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ растение усваивает главным образом NH_4 и мало SO_4^- . В результате остающиеся анионы (NO_3^- и SO_4^{2-}) подкисляют почвенный раствор. Подобные удобрения называются *физиологически кислыми*. Из других удобрений, напротив, более интенсивно поглощаются анионы. Например, после растворения NaNO_3 высвобождаются Na^+ и NO_3^- . Анион поглощается растением, а катион, соединившись с OH^- почвенного раствора, подщелачивает почву. Такие удобрения называются *физиологически щелочными*.

Большое значение в корневом питании имеет **насыщенность почвенного раствора питательными элементами**. Как высокая, так и недостаточная концентрация неблагоприятны для роста и развития сельскохозяйственных культур. Растения усваивают пищу из слабokonцентрированных растворов – 0,01–0,05 %, почвенные растворы незасоленных почв обычно имеют концентрацию от 0,02 до 0,2 %. Растения по-разному реагируют на ту или другую концентрацию почвенного раствора. Наиболее “чувствительны” к концентрированным растворам лен, люпин, огурцы, морковь, а также большинство молодых растений.

Ионы растения и почвенного раствора постоянно взаимодействуют друг с другом. Например, при сравнительно избыточном содержании катионов или анионов в растении они препятствуют проникновению в клетку других ионов. Так, при высокой концентрации Ca^{2+} или Mg^{2+} тормозится поступление K^+ и Na^+ , и наоборот. Между анионами антагонизм проявляется слабее, он более выражен между обладающими близкими химическими свойствами, например между SO_4^{2-} и SeO_4^- . Нет антагонизма между NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^- , но он возникает между анионами с одинаковыми зарядами, например между NO_3^- и $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$, Cl^- и HPO_4^- . Наряду с **антагонизмом** происходят процессы **синергизма**: ионы с противоположными

зарядами могут активизировать поступление друг друга в растение, например NH_4^+ и PO_4^- , K^+ и SO_4^- , Ca^{2+} и NO_3^- и т. д.

Если соотношение элементов питания в почвенном растворе полностью отвечает физиологическим потребностям того или иного растения, такой раствор называется *физиологически уравновешенным*.

Одно из главных свойств почвы – **водный режим**. Нормальная влажность почвы благоприятно сказывается на физиологическом состоянии растений, ускоряет фотосинтез, биосинтез белков, развитие корней и усиливает их поглотительную способность. Вода является средой для диффузии элементов питания из почвенного раствора и поглощающего комплекса почвы к корневым волоскам. На построение органического вещества растения расходуют примерно 0,2 % поглощаемой воды, более 99 % влаги испаряется. Существенно снижают затраты воды на создание урожая удобрения. Расход воды растением на образование сухого вещества на удобренном фоне, по данным Д. Н. Прянишникова, снижался на 20–36 % в зависимости от влажности почвы.

Поглощение питательных элементов растениями может совершаться только в условиях благоприятного **воздушного режима** почвы. Для большинства сельскохозяйственных культур достаточным является содержание в почве 2–3 % кислорода. При недостатке кислорода в ней образуется больше восстановленных форм железа и других элементов, вредных для растений, увеличивается содержание углекислого газа, а это снижает поглощение корнями азота, фосфора и ионов аммония, а также деятельность микроорганизмов. Для снабжения корней кислородом создают благоприятную структуру почвы.

На питание растений большое влияние оказывает **температура почвы**. При 5–7 °С снижается поступление в растения азота, фосфора, кальция, серы, в меньшей степени калия. Аммонийный азот может поступать в растение при более низкой температуре, чем нитратный. Сильное влияние низких температур на азотное и фосфорное питание в период всходов объясняется слабым использованием молодыми проростками азота и фосфора из запасов семян и почвы. Оптимальной температурой для азотного и фосфорного питания является 23–25 °С. Чрезмерно высокая температура отрицательно влияет на поступление питательных элементов в растение, что, очевидно, обусловлено снижением активности ферментных систем.

Питание и продуктивность сельскохозяйственных культур тесно связаны с **интенсивностью освещения**. Затенение растений в посевах, чрезмерное их загущение снижают интенсивность фотосинтеза и дыхания, а следовательно, и урожайность.

В питании растений огромное значение имеют **микроорганизмы**. На 1 га пахотного горизонта почвы содержится от 3 до 7–8 т микроорганизмов. Они превращают органические вещества почвы и органических удобрений в усвояемые растениями формы. Некоторые виды микроорганизмов способны также разлагать труднорастворимые минеральные соединения фосфора и калия, делая их доступными для растений.

Микроорганизмы-азотфиксаторы (клубеньковые бактерии и свободноживущие) обогащают почву азотом, поглощая его из воздуха. В результате жизнедеятельности микроорганизмов в почве создается *гумус*.

Особую роль в питании растений играют бактерии *ризосферы*. — слюя почвы, непосредственно примыкающего к корневой системе, где сосредоточена основная масса питательных элементов.

Однако микроорганизмы могут и ухудшить условия питания растений, так как у них одни и те же источники питания — азот и зольные элементы. Например, если в почву вносится свежий (неразложившийся) подстилочный навоз, бактерии становятся конкурентами растений. Кроме того, в почве есть бактерии-денитрификаторы, восстанавливающие нитраты (NO_3) и аммонийный азот до закисной формы (N_2O) и молекулярного азота (N_2), которые улетучиваются в атмосферу. И наконец, в почве имеются микробы — возбудители болезней растений.

В **разные периоды** вегетации растения предъявляют неодинаковые требования к условиям питания и внешней среды, что нужно учитывать при разработке систем удобрений культур. За время вегетации растений выделяют *два периода*, различающихся характером поглощения питательных элементов: *критический*, когда в растение поступает небольшое количество питательных элементов, но их недостаток ухудшает рост и развитие культур, и период *максимального потребления*, когда растения поглощают наибольшее количество питательных элементов. Для многих растений критическим является период всходов, прежде всего в отношении фосфора. В это время в растениях активно идут синтетические процессы, но корневая система еще развита слабо и они испытывают недостаток в фосфоре. И даже если в последующие фазы фосфорное питание будет достаточным, это не исправит положения — урожай будет низкий. Поэтому в первый период вегетации системой удобрения должно быть предусмотрено преобладание фосфора над азотом и калием. Для этого фосфорные удобрения небольшими дозами вносятся в рядки или гнезда во время сева. Под некоторые культуры при посеве вносятся все три основных элемента: фосфор, азот и калий, например под сахарную и кормовую свеклу, картофель.

Время интенсивного роста надземной массы (у зерновых это фаза выход в трубку – колошение, у сахарной свеклы – первая половина вегетации) является критическим периодом в азотном питании. В это же время происходит максимальное потребление азота. При недостатке в почве этого элемента проводят азотные подкормки.

Ко времени цветения и начала плодообразования у многих растений потребность в азоте снижается. Наступает критический период по отношению к фосфору и калию. Это связано с тем, что начинается усиленный синтез органических веществ, особенно при формировании репродуктивных органов. В период плодообразования заканчивается рост вегетативной массы, поступление питательных элементов уменьшается, а затем и прекращается,

Особенности потребления элементов питания растениями в различные фазы вегетации должны учитываться при разработке *систем удобрения сельскохозяйственных культур*, включающих обычно три приема внесения удобрений в разные сроки: **основное, припосевное и подкормки**. Основное внесение удобрений до сева должно обеспечить растения питанием в течение всего вегетационного периода. Поэтому до сева обычно вносят полную дозу органических и большую часть минеральных удобрений. Внесение удобрений во время сева преследует цель “поддержать” растения во время и 10—15 дней после всходов. Как правило, для этого используются легкорастворимые формы фосфорных удобрений. В период максимального потребления растениями питательных элементов делают корневые и внекорневые подкормки. Дозы удобрений для подкормок рассчитываются по данным почвенной и растительной диагностики. При определении доз, сроков и способов внесения удобрений учитываются биологические особенности культур и сортов, почвенно-климатические условия, виды и формы удобрений, планируемая урожайность.

Важным средством правильного выбора доз и сроков подкормок является растительная диагностика. Обычно суть растительной диагностики сводится к определению степени нуждаемости в подкормке (обычно азотной) по изменению цвета вещества-индикатора. Широко известен индикатор ИНДАМ для определения потребности в азотной подкормке.

7. СВОЙСТВА ПОЧВ БЕЛАРУСИ, ВАЖНЫЕ ДЛЯ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

7.1. Состав почвы

Почва – не просто среда размещения корней растений и резервуар элементов питания. Это сложный биологический организм, живущий по своим законам. В почве постоянно протекают физико-химические и биологические процессы превращения (мобилизации) питательных элементов.

Почва состоит из твердой, жидкой (почвенный раствор) и газообразной (почвенный воздух) частей. В твердой части почвы содержатся основные запасы питательных элементов. Она состоит из минеральной (90–99% массы) и органической частей (1–10%). Минеральная часть почвы в свою очередь на 90 % состоит из кислорода, кремния и алюминия. Углерод, водород, кислород, фосфор и сера содержатся в почве как в минеральной, так и органической части. Азот почти целиком содержится в органической части, калий – только в минеральной части почвы.

По происхождению минералы делятся на первичные и вторичные. Первичные минералы – кварц, полевые шпаты, слюды – входят в материнские почвообразующие породы и присутствуют в виде частиц песка (0,05 до 1 мм), пыли (0,001 до 0,05 мм) и меньше в виде илистых (меньше 0,001 мм) частиц. При разрушении минералов под влиянием химических процессов и жизнедеятельности различных организмов образуются гидраты полуторных окислов, гидраты кремнезема, различные соли и вторичные минералы – каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, монтмориллонит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, гидрослюда и др. Вторичные минералы находятся в почве преимущественно в виде илистых и даже коллоидных частиц и редко в виде пылеватых частиц.

Органические вещества твердой части почвы подразделяются на две большие группы: негумифицированные и гумифицированные вещества. Негумифицированные (подвижные) органические вещества – это отмершие, но еще не разложившиеся или полуразложившиеся остатки растений (корни) и микробов (животных). На площади 1 га в почву ежегодно поступает 5–10 т растительных остатков и 0,7–2,4 т продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. Негумифицированные органические вещества сравнительно легко разлагаются в почве. Содержащиеся в них элементы питания (азот, фосфор, сера и др.) переходят в доступную для растений минеральную форму. Органические вещества не полностью минерализуются. Одновременно в почве идет синтез новых очень сложных

органических веществ, которые служат источником для образования гумусовых, или перегнойных, веществ.

Гумифицированные (перегнойные) органические вещества – это высокомолекулярные азотсодержащие соединения специфической природы. Они составляют основную часть (90 %) органического вещества почвы. Гумус представляет собой аккумулятор солнечной энергии на планете.

Гумус состоит из гуминовых кислот, фульвокислот, гиматомелановых кислот и гуминов. Гуминовые кислоты представляют собой гетерогенную и полидисперсную группу высокомолекулярных азотсодержащих органических кислот, включающих ароматические циклы и алифатические цепи. Они извлекаются из почвы щелочами и некоторыми другими растворителями с образованием темно-окрашенных растворов – гуматов натрия, калия и аммония. Молекулярная масса гуминовых кислот измеряется десятками тысяч атомных единиц массы. Гуминовые кислоты в зависимости от типа почвы включают от 30 до 43% углерода, от 32 до 42 – водорода, от 17,5 до 22 – кислорода, от 2,4 до 3 % азота. Гуминовые кислоты содержат также фосфор, серу и другие элементы.

Химическими и физико-химическими методами (рентгендефрактометрия, электронная микроскопия, спектрофотометрия и др.) установлено, что основными структурными единицами гуминовых кислот являются ароматические “ядра”, в том числе азотсодержащие гетероциклы, боковые цепи и периферические функциональные группы: карбоксильные – COOH , гидроксильные и фенольные OH , метоксильные – O-CH_3 , карбоксильные $=\text{C=O}$, хинонные C=O . Боковые цепи гуминовых кислот представлены углеводными, аминокислотными и другими остатками.

Фульвокислоты – гумусовые вещества желтой или красноватой окраски, которые остаются в растворе после подкисления щелочной вытяжки из почвы и выпадения в осадок гуминовых кислот. Как и гуминовые кислоты, они входят в гетерогенную и полидисперсную группу высокомолекулярных азотсодержащих органических кислот. Фульвокислоты содержат: от 27 до 30 % углерода, от 34 до 42 – водорода, от 25 до 30 – кислорода и от 1,4 до 2,5 % азота.

В структуре фульво-, как и гуминовых кислот, установлены ароматические и алифатические группы. Однако ароматическая часть в их молекулах выражена менее ярко и в основном преобладают боковые цепи, т. е. алифатические, углеводные и аминокислотные компоненты. По составу фульвокислоты различных типов почв менее разнообразны и они лучше растворяются в воде, чем гуминовые кислоты.

Часть гумусовых веществ настолько прочно связана с минеральной частью почвы, что, не извлекается при обработке почвы щелочами и кис-

лотами. Эти “нерастворимые” составляющие гумуса называются гуминами. В тяжелых глинистых почвах нерастворимые образования составляют более 50 % гумуса.

Гумифицированные вещества почвы более устойчивы к микробиологическому разложению, чем негумифицированные соединения. Однако разложение гумуса в почве, хотя немедленно, но происходит. На полях, занятых зерновыми культурами, за вегетационный период разлагается 0,7–0,8 т/га гумуса, пропашными – 1,0–1,2 т/га с образованием доступного растениям минерального азота, фосфора, серы. В гумусе содержится около 5 % азота, от 1,5 до 2,4 % фосфора. В дерново-подзолистых почвах на органические соединения приходится 40 % фосфора и 90 % серы от общего содержания этих элементов в почве. На степень разложения гумуса влияет гранулометрический состав почвы, содержание гумуса в ней и т. д. Систематическое внесение органических и минеральных удобрений обеспечивает сохранение и накопление запасов гумуса в почве.

Жидкая часть почвы, или почвенный раствор, – наиболее подвижная, изменчивая и активная часть почвы, из которой растения поглощают ионы. В почвенном растворе содержатся минеральные, органические и органоминеральные вещества, совершаются важные химические процессы. В зависимости от типа почвы и других условий в почвенном растворе могут присутствовать анионы HCO_3^- , NO_3^- , H_2PO_4^- , Cl^- , SO_4^{2-} – и катионы K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , NH_4^+ , а также соли железа, алюминия и различные водорастворимые органические вещества (сахара, аминокислоты).

Наиболее благоприятная концентрация их в почвенном растворе для растений – 1 г в 1 л (0,1 %), в почве концентрация солей ниже: 0,5 г/л (0,05 %). Избыток солей в почве (больше 0,2 %) вреден для растений. Осмотическое давление почвенного раствора значительно ниже, чем в клеточном соке растений. На состав и концентрацию почвенного раствора воздействуют: удобренность почвы, влажность, интенсивность деятельности микроорганизмов, минерализации органического вещества, вымывания в нижележащие слои, усвоение ионов растениями и т. д.

Газообразная часть почвы, или почвенный воздух, отличается от атмосферного воздуха большим содержанием углекислого газа – от 0,1 до 3 % против 0,03 % в атмосфере и пониженным содержанием кислорода. В почве при разложении органического вещества, дыхании корней постоянно потребляется кислород и выделяется углекислый газ. На состав почвенного воздуха сильное влияние оказывают характер растительности, атмосферное давление, колебания температуры и т. д.

7.2 Поглощительная способность почв

Способность почвы поглощать ионы и молекулы различных веществ из растворов и удерживать их называется поглощительной способностью почвы. Большой вклад в изучение поглощительной способности почвы внес К. К. Гедройц. В его трудах исследование поглощительной способности почв тесно увязано с многочисленными теоретическими и практическими вопросами применения удобрений, питания растений, химической мелиорации почв и т. д. К. К. Гедройц выделил *пять видов поглощительной способности почв: механическую, физическую, химическую, физико-химическую, или обменную, и биологическую.*

Механическая поглощительная способность – это наиболее простой вид поглощения, которое происходит благодаря наличию в почве тончайших пор и капиллярных ходов. Мелкие твердые частицы, взвешенные в фильтрующейся через почву воде, задерживаются, т. е. механически поглощаются. Механическая поглощительная способность зависит от гранулометрического и агрегатного состава почвы и ее сложения, у песчаных почв она минимальная, у глинистых – максимальная. Механически первоначально поглощаются фосфоритная мука, известковые удобрения (любой степени измельчения), микроорганизмы.

Физическая поглощительная способность почвы – это способность ее положительно или отрицательно адсорбировать газы, молекулы солей, спиртов, щелочей и других веществ. Растворенное вещество притягивается или отталкивается поверхностью твердых частиц почвы. Интенсивность физического поглощения прямо зависит от количества мелкодисперсных частиц в почве и считается *положительным*, когда молекулы растворенного вещества притягиваются частицами почвы сильнее, чем молекулы воды, и *отрицательным*, если сильнее притягиваются молекулы воды. Положительное физическое поглощение аммиака почвой происходит при внесении безводного аммиака или аммиачной воды, отрицательное – растворов нитратов или хлоридов. Это обуславливает высокую подвижность последних в почве, что необходимо учитывать при внесении, нитратных и хлорсодержащих минеральных удобрений. Нитратные минеральные удобрения следует вносить ближе к посеву или в подкормку, а содержащие много хлора – с осени, чтобы произошло хотя бы частичное вымывание хлора, так как большинство культур отрицательно реагирует на хлор.

Химическая поглощительная способность почвы – это способность почвы удерживать некоторые ионы путем образования труднорастворимых или нерастворимых в воде соединений в результате химических ре-

акций, происходящих в почве. Наибольшее значение химическое. поглощение имеет при превращении соединений фосфора в почве.

Физико-химическая, или обменная, поглотительная способность – это способность мелкодисперсных коллоидных частиц почвы (от 0,00025 мм до 0,001 мм), несущих отрицательный заряд, поглощать различные катионы из раствора, причем поглощение одних катионов сопровождается вытеснением в раствор эквивалентного количества других, ранее поглощенных твердой фракцией почвы. Совокупность мелкодисперсных почвенных частиц, обладающих обменной поглотительной способностью К. К. Гедройц назвал **почвенным поглощающим комплексом (ППК)**.

Почвенные коллоиды подразделяются на *органические, минеральные и органоминеральные*. Органические коллоиды представлены гумусовыми веществами (гуминовые кислоты, фульвокислоты и их соли), минеральные – глинистыми минералами, как кристаллическими, так и аморфными соединениями (кремниевая кислота, гидраты полуторных окислов).

Способность органических коллоидов и минералов глин к обменному поглощению катионов обусловлена их отрицательным зарядом. Поэтому поглощаются катионы солей (удобрений). Положительный заряд имеют коллоидные гидроокиси железа и алюминия, тогда обменно поглощаются анионы NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} . Обменно поглощаются в почве калийные и многие азотные удобрения.

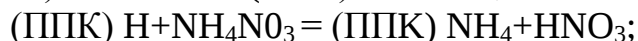
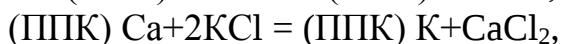
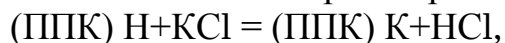
Обменная поглотительная способность имеет большое значение для питания растений и применения удобрений. Поглощенные ППК катионы доступны для растений в обмен на H^+ , получаемый при диссоциации $\text{H}_2\text{CO}_3 = \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$, которая выделяется при дыхании корней растений.

Поскольку поглощенный калий слабо вымывается из почвы, то дозы калийных удобрений можно вносить большие (в запас) и повышать содержание калия в почве.

Закономерности обменного поглощения катионов:

реакция обмена между ППК и катионами солевых растворов протекает в эквивалентных соотношениях;

реакция обмена катионов обратима, т. е. поглощенный катион может быть снова вытеснен в раствор:



- при постоянной концентрации раствора количество катионов, вытесняемых из почвы в раствор, увеличивается с увеличением объема раствора;
- при постоянном объеме раствора количество катионов, вытесняемых из почвы в раствор, повышается с увеличением концентрации раствора вытесняющей соли;
- реакции обменного поглощения в почвах подчиняются закону действующих масс: чем выше концентрация катионов в растворе и чем ниже содержание катионов в ППК, тем больше катионов поглотится почвой;
- реакции обмена катионов при взаимодействии почвы с раствором протекают с большой скоростью, так как обмен катионов происходит на поверхности коллоидных частиц почвы;
- разные катионы поглощаются почвой и удерживаются в поглощенном состоянии с неодинаковой энергией. Чем больше атомная масса и заряд катиона, тем сильнее он поглощается и труднее вытесняется из почвы другими катионами.

Двухвалентные и трехвалентные катионы несут большие, электрические, заряды и поэтому значительно сильнее притягиваются коллоидными частицами, чем одновалентные. При одинаковой валентности энергия поглощения катионов тем выше, чем больше их атомная масса, так как атомная масса и гидратация катиона находятся в обратной зависимости. Например, к H^+ присоединяется 1 молекула воды, к NH_4^+ – 4,4 молекулы воды, к Na 8,4 молекулы воды. Слабогидратированные катионы сильнее притягиваются поверхностью коллоида.

По возрастающей способности к поглощению катионы располагаются в следующем порядке: Li ; Na ; NH_4 ; K ; Rb ; Cs ; Mg ; Ca ; Ba ; Cd ; Co ; Al ; Fe . Исключение составляет ион H^+ . Он имеет наименьшую атомную массу, но обладает высокой энергией поглощения и способностью вытеснять из поглощающего комплекса другие катионы.

По данным К. К. Гедройца, энергия поглощения H^+ в 4 раза больше, чем Ca^{2+} , и в 17 раз больше, чем Na^+ . Это связано с тем, что в водных растворах ион водорода присоединяет молекулы воды и образует ион гидроксония (H_3O^+), диаметр которого значительно меньше всех других гидратированных ионов.

Катионы калия, аммония, рубидия и цезия могут частично закрепляться (фиксироваться) почвами в необменной форме. Это связано с тем, что они проникают внутрь кристаллической решетки минералов, входящих в почвенный поглощающий комплекс. Связано это с радиусом катиона. Радиус катиона $K^+ = 1,33 \text{ \AA}$, радиус $NH_4^+ = 1,43 \text{ \AA}$.

Степень необменной фиксации катионов зависит от гранулометрического и минералогического состава почвы. У черноземов она значительно больше, чем у дерново-подзолистых почв. Необменная фиксация катионов возрастает при периодическом увлажнении и высушивании почвы. Поэтому калийные удобрения для уменьшения необменной фиксации калия рекомендуется заделывать вспашкой в глубокий, непересыхающий слой почвы или вносить лентами, перемешивая с меньшим объемом почвы. Предпочтительнее гранулированные калийные удобрения.

Биологическая поглотительная способность почвы состоит в том, что азот и зольные элементы удерживаются почвой в составе органических веществ, образуемых растениями и почвенными микроорганизмами, благодаря чему эти питательные элементы не вымываются из почвы. Биологическое поглощение играет важную роль в превращении нитратных соединений азота в почве. Так, легкорастворимые соли азотной кислоты удерживаются в почве главным образом будучи усвоенными микроорганизмами. После их отмирания и минерализации они вновь становятся доступными для растений. В среднем на площади 1 га микроорганизмы могут удерживать до 125 кг азота, 40 – фосфора и 25 кг калия.

Эта же способность почвы может иметь и отрицательные последствия. Если в почву вносится много богатого клетчаткой, но бедного азотом органического вещества (солома; навоз, содержащий много соломы), то микроорганизмы, будучи конкурентами растений, используя клетчатку в качестве энергетического материала, будут интенсивно размножаться и потреблять много азота из почвы. Азотное питание растений может ухудшиться. Поэтому при запашке соломы на удобрение в почву необходимо вносить в расчете на каждую ее тонну 10–12 кг азота или же высевать зернобобовые культуры или высаживать картофель, так как эти культуры снижают урожайность в меньшей степени, чем зерновые.

Известкование кислых почв, комбинированное внесение органических и минеральных удобрений позволяют регулировать интенсивность микробиологических процессов в почве.

7.3. Реакция почвенной среды

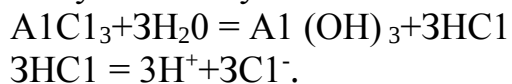
Реакция почвы – физико-химическое свойство почвы, связанное с содержанием ионов H^+ и OH^- в ее твердой и жидкой частях. Реакция почвы кислая, если в ней преобладают ионы H^+ , и щелочная, если ионы OH^- . Реакция почвы оказывает большое влияние на развитие растений и почвенных микроорганизмов, на эффективность удобрений, на химические и биохимические процессы в почве. Для количественной оценки реакции

почвы применяют различные показатели: рН суспензии почвы в воде или в растворе КСl, количество кислотных компонентов в вытяжке 1М ацетата натрия и т.п.

Концентрацию ионов водорода в растворе принято выражать условной величиной рН (отрицательный логарифм концентрации H^+ ионов).

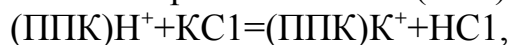
Различают две формы кислотности почв: **актуальную (активную) и потенциальную (скрытую)** кислотность. Последняя подразделяется, в свою очередь, на *обменную* и *гидролитическую*.

Актуальная кислотность – это кислотность почвенного раствора, обусловленная повышенной концентрацией в нем ионов H^+ , а также слабых минеральных (H_2CO_3), органических кислот и гидролитически кислых солей ($AlCl_3$). Последние при гидролизе образуют слабое основание и сильную кислоту: .



При нейтральной реакции концентрация ионов водорода и гидроксила одинакова – 10^{-7} мг/л, то есть рН раствора равен 7. Актуальная кислотность непосредственно влияет на развитие растений и почвенных микроорганизмов.

Потенциальная (скрытая) кислотность обусловлена ионами H^+ , Al^{3+} и Fe^{3+} , поглощенными ППК с отрицательным зарядом. Часть поглощенных ионов водорода и алюминия может быть вытеснена в раствор катионами нейтральных солей (КСl):

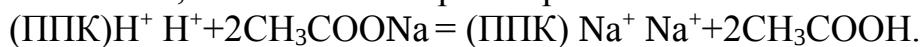


в результате чего почвенный раствор подкисляется. Это – **обменная потенциальная кислотность почвы, выражается рН в КСl**. В почвах Беларуси обменная кислотность, как правило, на порядок выше актуальной и включает ее.

Принято следующее деление *минеральных и торфяно-болотных почв* республики Беларусь в зависимости от обменной кислотности (таблица 7.1):

Минеральные почвы с рН <4,5 – *сильнокислые* и с рН 4,51–5,00 – *среднекислые*, а также торфяно-болотные с рН менее 4,5 нуждаются в первоочередном известковании; почвы 3 группы – *кислые*, требуют известкования, при рН 5,51–6,0 – минимальная нуждаемость в известковании имеется лишь для суглинистых и глинистых почв.

При обработке почвы уксуснокислым натрием CH_3COONa или уксуснокислым кальцием $(CH_3COO)_2Ca$ все ионы, обуславливающие кислотность почвы, вытесняются в раствор:



**Таблица 7.1. Градация почв Беларуси по степени кислотности (рН в KCl)
и относительное содержание почв различной кислотности**

№ п/п	Степень кислотности	минераль- ные почвы	торфяно- болотные почвы	Пашня, %	Улучшенные сенокосы и пастбища, %
1	сильнокислые	менее 4,5	менее 4,0	1,4	1,3
2	среднекислые	4,51–5,00	4,01–4,50	5,7	4,7
3	кислые	5,01–5,50	4,51–5,00	18,1	15,5
4	слабокислые	5,51–6,00	5,01–5,50	31,6	28,2
5	близкие к нейтральным и нейтральные	6,01–6,50	5,51–6,00	29,5	29,0
6	близкие к нейтральным и нейтральные	6,51–7,00	6,01–6,50	11,7	16,0
7	нейтральные и слабоще- лочные	более 7,00	более 6,50	2,1	5,3

Эта часть потенциальной кислотности получила название **гидролитической**. Кислотность, обнаруживаемая при обработке почвы раствором CH_3COONa , включает актуальную и потенциальную кислотность – как обменную, так и собственно гидролитическую (которая не обнаруживается при обработке KCl). Гидролитическая кислотность выражается в мгэкв на 100 г почвы или, по современной системе, смоль(+)/кг, что одно и то же.

Свойства почвы характеризуются также **степенью насыщенности основаниями** – количеством обменно поглощенных оснований, выраженным в процентах от емкости поглощения:

$$V = S \cdot 100 / T, \text{ и } T = S + H$$

где V – степень насыщенности почвы основаниями, %;

S – сумма поглощенных оснований (кроме H и Al);

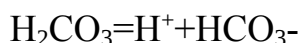
T – поглощательная способность всех катионов, включая ионы водорода.

Степень насыщенности основаниями показывает, *какая часть общей емкости приходится на поглощенные основания и какая — на ионы водорода*. Например, V= 80 % означает, что 80 % от общей емкости (T) занимают основания и 20 % — ионы водорода.

По современным понятиям наиболее точно степень насыщенности основаниями можно определить через сумму основных катионов (Ca, Mg, K), непосредственно определенных в нейтрально-солевых вытяжках, и величину емкости катионного обмена (ЕКО). Их соотношение в процентах будет представлять собой степень насыщенности почв основаниями.

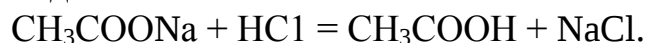
Буферная способность почв. Почвенный раствор подкисляется в результате выделения углекислоты при дыхании корней, образовании HNO_3 при нитрификации и от продуктов жизнедеятельности микроорганизмов.

Реакция почвы изменяется также от удобрений. Изменение реакции разных почв под действием этих факторов неодинаково. *Способность почвы противостоять изменению реакции почвенного раствора в кислую или щелочную сторону называется буферной способностью почвы.* Буферность почвы в целом зависит от буферных свойств ее твердой и жидкой частей. *Буферность раствора* создается слабыми кислотами и их солями. Слабые кислоты диссоциируют не полностью, большая часть их находится в виде недиссоциированных молекул:

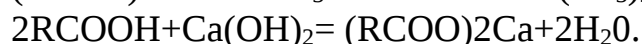
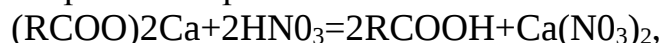


Если к этому раствору прибавить NaOH, то произойдет связывание ионов H^+ с образованием воды и pH изменится мало. Иными словами, слабая кислота будет противодействовать подщелачиванию раствора.

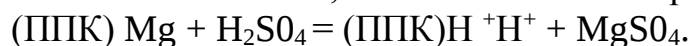
Раствор слабой кислоты и ее соли будет буферным также и против подкисления:



Буферность почвенного раствора обуславливается также водорастворимыми органическими кислотами и их солями:



Чем больше общая емкость поглощения и. степень насыщенности почвы основаниями, тем сильнее почва противостоит подкислению:



Чем больше ионов водорода в почве, тем сильнее она будет противостоять подщелачиванию.

На почвах с низкой буферной способностью (песчаных, супесчаных, бедных гумусом) при внесении физиологически кислых удобрений возможны резкие сдвиги реакции в кислую сторону. На таких почвах вносят также меньшие дозы извести, чем на суглинистых, так как они слабо противостоят подщелачиванию. Это нужно учитывать при внесении минеральных удобрений и извести.

7.4. Содержание питательных элементов в почвах

В Беларуси 68 % территории и свыше 90 % пашни занимают дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболочиваемые почвы. Глинистые и суглинистые почвы занимают 25,7 %, супесчаные – 48,5 %, песчаные – 20,1 % и торфяные – 5,3 %. В Витебской, Могилевской и Минской

областях преобладают почвы связного гранулометрического состава, в Брестской и Гомельской областях более широко представлены легкие почвы.

Уровень плодородия дерново-подзолистых почв обуславливается гранулометрическим составом, водным режимом и агрохимическими свойствами, прежде всего содержанием гумуса, элементов питания и степенью кислотности. Более плодородные почвы – глинистые, суглинистые, окультуренные торфяники, а также супесчаные, подстилаемые суглинками. На эти виды почв приходится 71 % пашни. Больше всего их в Витебской и Могилевской областях (80 %) и меньше (50 %) в Гомельской и Брестской. Почвы Гродненской области по сочетанию всех показателей, определяющих уровень плодородия, более плодородны.

Почвы республики очень пестры по гранулометрическому составу, что связано с разнообразием почвообразующих пород. Гранулометрический состав почвы определяют ее водный и питательный режимы. Супесчаные почвы характеризуются менее устойчивым водным режимом в сравнении с суглинками, но в случаях близкого подстилания суглинками по своим свойствам приближаются к последним. Песчаные почвы отличаются очень малой влагоемкостью и, как правило, бедны питательными элементами.

В большинстве почв Беларуси общий запас питательных элементов составляет значительные величины, в десятки и сотни раз выше выноса их с урожаями культурных растений. Вместе с тем большая часть питательных элементов находится в недоступной для растений форме. Азот содержится в форме гумусовых веществ, фосфор – в виде труднорастворимых минеральных солей и органических веществ, калий – внутри кристаллической решетки вторичных алюмосиликатов. В труднодоступной и недоступной форме находится и большая часть кальция, магния, меди, цинка и других питательных элементов. Так, в наших опытах на дерново-подзолистой суглинистой почве содержание обменного кальция в пахотном слое составляло 800–1000 мг/кг почвы, или 20–30 % от валового (0,53 % от веса почвы), магния – 150–300 мг/кг почвы, или 5–10 % от валового (0,48 %), на дерново-подзолистой связносупесчаной почве: кальция – 500–900 мг/кг почвы, или 20–30 % от валового (0,32 %), магния – 100–300 мг/кг почвы, или 6–16 % от валового (0,30 %).

Исследования агрохимической службы республики подтвердили улучшение агрохимических свойств почв в первую очередь на пахотных землях. Средневзвешенное значение pH в KCl на 2013 год составляет 5,89, содержание P_2O_5 – 191 мг/кг, K_2O – 206 мг/кг почвы, CaO – 1180 мг/кг, MgO – 259 мг/кг, на улучшенных сенокосах и пастбищах эти

показатели равны соответственно: 5,92, 120, 147, 1370 и 284 мг/кг. Темпы повышения плодородия пашни примерно вдвое выше, чем сенокосов и пастбищ. Это свидетельствует о необходимости перераспределения удобрений между угодьями. Чтобы увеличить содержание подвижного фосфора и калия на сенокосах и пастбищах на 10 мг в расчете на 1 кг почвы, нужно, кроме возмещения выносимого с урожаем количества питательных элементов, вносить 50–60 кг/га фосфорных и 60–90 кг/га калийных удобрений.

По данным Белорусского института почвоведения и агрохимии в настоящее время в республике оптимальную реакцию на пахотных угодьях имеют примерно 80 % суглинистых, глинистых и торфяно-болотных почв; 65 % – супесчаных и песчаных. В Минской области сильно- и среднекислые почвы остались только на 3 % пахотных угодий.

Оптимальный уровень обеспеченности фосфором и калием имеют только около 60 % почв республики. По содержанию фосфора (табл. 7.2) 20 % почв пашни имеют явный дефицит (менее 100 мг/кг), по содержанию калия (табл. 7.3) – 40 % (менее 140 мг/кг).

Таблица 7.2. Градация по содержанию и запасу подвижного фосфора в почвах Беларуси и распределение почв по группам обеспеченности

Группы по содержанию фосфора	Содержание P_2O_5 , мг/кг почвы (по Кирсанову)		Запас в пахотном слое (25см), кг/га	Пашня, %	Улучшенные сенокосы и пастбища, %
	минеральные	торфяно-болотные			
1. Очень низкое	менее 60	менее 200	менее 200	7,2	28,1
2. Низкое	61–100	201–300	201–300	13,9	23,6
3. Среднее	101–150	301–500	301–500	19,9	19,4
4. Повышенное	151–250	501–800	501–800	32,4	17,4
5. Высокое	251–400	801–1200	801–1300	22,0	8,8
6. Очень высокое (избыточное)	более 400	более 1200	более 1300	4,6	2,7

К сожалению, не существует надежного почвенного теста на содержание доступного растениям азота. До 95 % азота находится в почве в виде сложных органических соединений, поэтому при сравнительном большом общем количестве – 0,05–0,2 % от веса почвы реально доступного азота мало. Лишь 1 % азота находится в легкодоступной нитратной и обменно-аммонийной формах. Нормальное обеспечение азотом растений определяется скоростью минерализации органического азота. Образовавшиеся соединения азота очень неустойчивы, поэтому судить об

обеспеченности почвы доступным азотом можно лишь по содержанию гумуса или делать по лабораторным данным выводы, касающиеся оперативного внесения удобрений.

В среднем содержание гумуса (табл. 7.4) на пахотных угодьях составляет 2,28 %, на улучшенных сенокосах и пастбищах – 2,74 %. В связи с уменьшением использования торфа на удобрение в будущем будет труднее поддерживать хотя бы бездефицитный баланс гумуса на отдельных территориях.

Таблица 7.3. Градация по содержанию и запасу подвижного калия в почвах Беларуси и распределение почв по группам обеспеченности

Группы по содержанию фосфора	Содержание P_2O_5 , мг/кг почвы (по Кирсанову)		Запас в пахотном слое (25см), кг/га	Пашня, %	Улучшенные сенокосы и пастбища, %
	минеральные	торфяно-болотные			
1. Очень низкое	менее 80	менее 200	менее 300	6,2	23,2
2. Низкое	81–140	201–400	301–400	21,2	32,4
3. Среднее	141–200	401–600	401–700	27,8	21,1
4. Повышенное	201–300	601–1000	701–1000	28,7	15,6
5. Высокое	301–400	1001–1300	1001–1300	11,1	4,8
6. Очень высокое (избыточное)	более 400	более 1300	более 1300	5,1	2,8

Содержание подвижного K_2O считается избыточным, если оно превышает 4,5% от емкости катионного обмена на супесчаных и песчаных и почвах и 5% – на суглинистых почвах.

Пахотные земли Беларуси недостаточно обеспечены микроэлементами, особенно серой, бором и медью. Средневзвешенное содержание серы составляет 7,7 мг/кг, а бедные серой почвы – 46 % пашни, средневзвешенное содержание бора составляет 0,62 мг в 1 кг почвы. Бедные бором почвы (содержащие меньше 30 мг/кг) занимают 10 % пахотных земель. Средневзвешенное содержание меди на пашне – 1,79 мг/кг почвы, более 40 % почв республики испытывают недостаток этого элемента. При среднем содержании подвижного цинка 3,02 мг/кг на пашне около 60 % почв пашни бедны этим элементом (менее 3 %).

различными сельскохозяйственными культурами показало тесную связь уровней их урожайности с четырьмя важнейшими агрохимическими показателями почвы: кислотностью, содержанием гумуса, подвижными формами фосфора и калия.

Таблица 7.4. Градация по содержанию и запасу гумуса в почвах Беларуси и распределение почв по группам обеспеченности

Группы по содержанию гумуса	Содержание гумуса, %	Запас гумуса в пахотном слое, т/га	Пашня, %	Улучшенные сенокосы и пастбища, %
1. Очень низкое	менее 1,0	менее 30	0,5	0,3
2. Низкое	1,01–1,50	31–50	10,2	4,1
3. Недостаточное	1,51–2,00	51–70	30,2	14,9
4. Среднее	2,01–2,50	71–90	27,3	19,2
5. Повышенное	2,51–3,00	91–110	15,5	15,6
6. Высокое	более 3,00	более 110	16,3	45,9

Обобщение результатов многочисленных полевых опытов с

Современной наукой разработана модель плодородия почв, представляющая собой совокупность агрономически значимых свойств и почвенных режимов, отвечающих определенному уровню продуктивности растений. Расширенное воспроизводство плодородия почв и на этой основе рост урожайности сельскохозяйственных культур должны идти путем оптимизации комплекса свойств почв, включая физико-химические, биологические и др. Состояние почв, степень их соответствия требованиям культурных растений для формирования высоких урожаев оценивается степенью окультуренности почвы. В качестве показателей окультуренности почв используются показатели контролируемые агрохимической службой: уровень кислотности (рН); содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия.

Анализ результатов полевых опытов с удобрениями, проведенных научными учреждениями и агрохимической службой республики, показал, что контролируемые агрохимические свойства дерново-подзолистых почв на 58–77 % определяют уровень урожайности зерновых культур на фоне полного минерального удобрения и на 20–50 % – величину прироста урожая от азотных, фосфорных и калийных удобрений.

Существующие градации диагностических признаков степени окультуренности почв нуждаются в периодическом уточнении в полевых экспериментах по мере введения в практику новых сортов и элементов технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

В пределе от минимальных до оптимальных значений каждого показателя, установлена достоверная корреляция с величиной урожая сельскохозяйственных культур и определено изменение урожая на единицу измерения агрохимических свойств. Например, установлено, что прирост урожай по мере повышения содержания фосфора, калия и гумуса в почве

постепенно снижается. Так, на суглинистых и супесчаных подстилаемых мореной почвах на каждые 10 мг/кг P_2O_5 в диапазоне 30–100 мг/кг продуктивность изучавшихся культур повышалась на 132 к. ед. на 1 га, в интервале 101–150 мг/кг P_2O_5 прирост составлял 108 к. ед. на 1 га, 151–200 мг/кг P_2O_5 – 101 к. ед., 200–250 мг/кг P_2O_5 – 68 к. ед. на 1 га.

Аналогично меняется прирост продуктивности культур при повышении содержания калия в 1 кг почвы в расчете на каждые 10 мг K_2O . На суглинистых почвах при содержании K_2O в диапазоне от 30 до 80 мг урожайность с 1 га повышалась на 122 к. ед.; 81–140 мг – на 98 к. ед.; 141–200 мг – на 70 к. ед. Продуктивность тех же культур по мере увеличения содержания гумуса на 0,1 % в диапазоне 1–2 % повышалась на 90 к. ед. с 1 га, а при дальнейшем повышении запасов гумуса – только на 25 к. ед.

Для количественной оценки плодородия почв Беларуси используется также комплексный показатель – **индекс агрохимической окультуренности почв**, где каждый из показателей (рН, содержание P_2O_5 , K_2O , гумуса) выражен в относительных величинах, а за 1 приняты средние оптимальные значения этих свойств почв. Относительные индексы (И) каждого свойства рассчитываются по формуле:

$$И = (X_{\text{факт}} - X_{\text{мин}}) / (X_{\text{опт}} - X_{\text{мин}});$$

где $X_{\text{факт}}$ – фактическое значение свойства по данным анализа; $X_{\text{мин}}$ и $X_{\text{опт}}$ – соответственно минимальное и оптимальное значения показателей для данной почвы.

Для использования на практике установлены следующие минимальные агрохимические показатели минеральных почв: рН (КС1) – 3,5; по 20 мг/кг почвы P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову); 0,5 % гумуса. Для торфяно-болотных почв минимальный показатель содержания P_2O_5 и K_2O – 100 мг/кг почвы.

Оптимальные показатели основных параметров почвенного плодородия, принятые для определения коэффициента окультуренности, представлены в таблице 7.5.

Если фактический показатель больше оптимального, то условно показатель от этого свойства принимается равным 1. После определения относительных индексов всех показателей рассчитывается индекс окультуренности ($I_{\text{ок}}$) как среднее арифметическое относительных индексов: $I_{\text{ок}} = (I_{\text{рН}} + I_{\text{P}_2\text{O}_5} + I_{\text{K}_2\text{O}} + I_{\text{гум}})$. Индекс окультуренности почв может изменяться в большом диапазоне – от 0,2 до 1. Этот показатель удобен в расчетах и позволяет объективно сравнивать степень окультуренности почв.

Таблица 7.5. Интервалы оптимальных параметров агрохимических свойств почв Беларуси

Почвы	рН (KCl)	мг/кг почвы			Гумус, %
		P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	
1. Глинистые и суглинистые	6,0–6,7	250–300	200–300	150–300	2,5–3,0
2. Супесчаные	5,5–6,2	200–250	170–250	120–150	2,0–2,5
3. Песчаные	5,5–5,8	150–200	100–150	80–100	1,8–2,2
4. Торфяно-болотные	5,0–5,3	700–1000	600–800	450–900	–
5. Минеральные почвы сенокосов и пастбищ	5,8–6,2	120–200	150–200	90–120	3,5–4,0

Кадастровая оценка почв в баллах может понижаться до 50 % при изменении индекса окультуренности почв от 1 до 0,2, для чего используются экспериментально установленные понижающие коэффициенты.

По степени окультуренности почвы принято делить на четыре группы: с очень низкой степенью окультуренности ($I_{ок}$ менее 0,40); низкой (0,41–0,60); среднеокультуренные (0,61–0,8) и высокоокультуренные (0,81–1,00) почвы.

Ведущая роль в повышении плодородия почв принадлежит удобрениям и мелиорантам. Благодаря органическим и минеральным удобрениям в 1986–1990 гг. в Беларуси формировалось 50–60 % урожая сельскохозяйственных культур на пашне и 40 % на луговых угодьях. За 35 лет (1965–2000) интенсивной химизации земледелия уровень потенциального плодородия пахотных почв повысился в два раза, а продуктивность севооборотов в 2,9 раза, произошло заметное выравнивание почв по уровню плодородия, окупаемость 1 кг удобрений (NPK) повысилась с 3,2 до 6–7 к. ед. Большое значение имела также организация квалифицированного агрохимического обслуживания.

С учетом особенности периода перехода к рыночной экономике, дефицита энергетических ресурсов, непростой экологической ситуации в республике, осложненной радиоактивным загрязнением почв, современные положения концепции повышения плодородия почв основаны на расширенном возврате органического вещества, макро- и микроэлементов на полях, где их содержание ниже оптимального уровня; поддержании уровня плодородия почв с оптимальными свойствами; ограничении применения удобрений на полях с избыточным содержанием элементов питания растений. Система удобрений устанавливает дозы удобрений с учетом комплекса свойств почв, биологических особенностей возделыва-

емой культуры и предшественников, исходя из получения не максимальной, а рациональной, экологически и экономически обоснованной урожайности, которая обычно находится на уровне 90–95 % от максимально возможной. Параметры плодородия регулируются на основе автоматизированной системы управления, включающей банк данных земельных ресурсов по результатам периодических почвенно-геоботанических (через 15 лет) и агрохимических (через 4–5 лет) обследований сельскохозяйственных угодий, комплекса производственных задач по земельному кадастру и применению средств химизации, контурно-экологическим севооборотам и др.

Планомерное окультуривание и оптимизация свойств почв имеет большое природоохранное значение и особую экологическую значимость для Беларуси. Так, полный комплекс окультуривания почв (регулирование водного режима и минерального питания, удобрение) позволяет снизить загрязнение продукции радионуклидами до 10 раз.

4. ИЗВЕСТКОВАНИЕ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

Получать высокие и устойчивые урожаи на кислых почвах можно только после проведения химической кислоторегулирующей мелиорации – известкования кислых почв. Особенно важно оптимизировать реакцию почвенной среды при применении интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, так как интенсивные сорта зерновых культур весьма требовательны к кислотности.

Широкомасштабное известкование кислых почв в республике проводится с 1965 года. За этот период создана система научного и материально-технического обеспечения работ: Витебское ОАО “Доломит”, производящее высококачественную доломитовую муку; районные объединения «Агросервис» (ранее – “Сельхозхимия”), осуществляющие хранение, транспортировку и внесение извести в почву, агрохимическая служба, ведущая мониторинг состояния кислотности, подготовку проектно-сметной документации и контроль за качеством работ. Проведено шесть циклов известкования кислых почв, внесено примерно 136 млн. тонн CaCO_3 , или 16,0 тонн на гектар интенсивно используемых земель. Энергозатраты составили 70,4 ГДж/га, материальные затраты – 176 долларов США/га. Интенсивная работа по химической мелиорации кислых почв Беларуси нашла отражение в резком сокращении количества кислых почв: доля почв I группы кислотности на пашне упала за последние 35 лет в 23 раза, почв II группы кислотности – в 7,5 раз, на почвах сенокосов и пастбищ доля этих почв уменьшилась соответственно в 12 и 4 раза.

Агроэкономическая эффективность известкования, по данным научно-исследовательских учреждений многих стран, очень высока. Каждая тонна CaCO_3 на сильнокислых почвах обеспечивает прибавку урожая около 1 ц кормовых единиц. В условиях усиления антропогенной нагрузки на природу в целом и почву все большее значение приобретает известкование как фактор охраны окружающей среды. По данным наших лизиметрических исследований, ежегодные потери кальция и магния в пересчете на CaCO_3 достигают 250–500 кг/га в зависимости от свойств конкретных почв, и их необходимо компенсировать путем известкования для предупреждения подкисления, ухудшения питательного режима почв, активизации алюминия и т.д.

Общепризнанное негативное влияние повышенной почвенной кислотности на растения обусловлено рядом причин, основные из которых следующие: – недостаток Ca; – повышенная концентрация токсичных Al, Mn, H; – пониженная доступность для растений элементов питания; – неблагоприятные физические свойства почв. Единственным кардинальным путем устранения избыточной кислотности почв является их известкование. Главным фактором отрицательного действия повышенной кислотности на дерново-подзолистых почвах является обменный алюминий. Именно его наличие в подвижной форме в количестве 10 и более мг/кг является четким индикатором необходимости известкования. Для определения потребности почв во внесении известковых мелиорантов в Беларуси используется показатель pH в KCl как простой в определении и надежный.

В Беларуси проведена огромная работа по химической мелиорации почв в узком смысле этого слова. По данным агрохимического обследования 1966–1970 годов (табл. 8.1), когда интенсивное известкование в республике еще только начиналось, две трети площадей пашни нуждались в коренном известковании, имея величину pH_{KCl} 5,0 и менее. Количество почв с pH менее 5,5 составляло 83,0 % пашни, что ясно свидетельствует о ничтожных объемах известкования как средства коренного улучшения кислотности почв в тот период.

До 1960-х годов развертывание и планомерное проведение работ по химической мелиорации почв в хозяйствах Беларуси сдерживалась отсутствием необходимого количества извести и данных о наличии кислых почв на территории республики. Проведение институтом почвоведения и агрохимии первых сплошных почвенных обследований (1957–1964 гг.), которые показали наличие большого количества кислых почв, и совокупность наработок отечественных ученых позволила к середине 1960-х годов на фоне некоторого экономического роста в стране приступить к из-

весткованию почв в значительных масштабах, ежегодные объемы известкования увеличились с примерно 30 тысяч га в 1951–53 гг. до 1 млн. га в 1970–80-х годах.

Таблица 8.1. Наличие кислых почв (по группам кислотности, %) на пашне в Беларуси по результатам обследования 1966–1970 годов

Области	тыс. га	4,0 и менее	4,1–4,5	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,0 и более
Брестская	742,9	0,8	40,5	26,8	13,9	6,0	12,0
Витебская	1142,3	0,2	21,0	32,0	23,3	12,0	11,5
Гомельская	890,0	1,4	25,6	37,8	17,1	8,4	9,7
Гродненская	866,1	0,1	24,9	32,7	17,8	9,5	15,0
Минская	1192,1	0,2	46,3	32,6	11,9	4,7	4,3
Могилевская	992,0	1,9	34,7	38,8	13,3	6,8	4,5
Беларусь	5825,5	0,8	32,3	33,6	16,3	7,9	9,1

В настоящее время в Беларуси преобладают почвы, слабо нуждающиеся в извести, а доля почв с рН менее 5,0 сократилась до 5,9 %. На первый план сейчас выходит известкование поддерживающее, особенно на сенокосах и пастбищах, где известкование велось более медленными темпами. Но даже сейчас в почвы республики необходимо вносить примерно 2,5 млн. т CaCO_3 , что позволит компенсировать перманентный процесс естественного подкисления почв.

Вместе с известью в почву вносится кальций и, в меньшей степени, магний. Кальция в почве обычно достаточно в доступной форме для питания растений и внесение его с известковыми мелиорантами имеет прежде всего именно мелиорирующее значение, с целью снижения избыточной кислотности почвы. Количество магния в обменной форме может быть и недостаточным для культурных растений, но длительное известкование доломитовой мукой, в составе которой содержится 20 % оксида магния, позволило оптимизировать содержание этого элемента почти во всех интенсивно используемых почвах страны.

За последние 10 лет с одного гектара с урожаем озимой ржи выносилось в среднем 9,0 кг/га CaO и 6,9 кг/га MgO , ячменя – 10,8 и 6,9, картофеля – 24,9 и 12,7, сахарной свеклы – 39,4 и 28,2, сенокосных трав – 22,6 и 9,8 кг/га соответственно. Иными словами, с 1 гектара пашни выносилось около 50 кг/га этих элементов в пересчете на CaCO_3 , и этот второй по значимости расходный фактор необходимо обязательно учитывать при расчете баланса Ca и Mg в целях химической мелиорации.

Известкование оказывает комплексное положительное действие на почву и растения, но главной целью его проведения является повышение урожайности культурных растений. Прямое отрицательное действие повышенной кислотности, установленное серией физиологических экспериментов, в первую очередь Алямовского Н.И., Авдониной Н.С., заключается в нарушении коллоидно-химических свойств протоплазмы растительных клеток, нарушении белкового обмена и торможении синтеза белков, изменении адсорбции катионов растениями, избытке органических кислот в клеточном соке. Особенно чувствительны растения к кислотности почвы в начальный период роста, когда идет закладка генеративных органов.

В первую очередь агрономическая эффективность известкования определяется исходной кислотностью почвы: чем она больше, тем больше прибавка урожая. Другим важным фактором, определяющим эффективность известкования, является оптимальная дозировка мелиоранта. Оптимальной является такая доза извести, которая приводит к достижению уровня кислотности, обеспечивающего максимальную продуктивность.

Наибольший урожай на дерново-подзолистой песчаной почве Беларуси обычно достигается при pH не менее 5,3–5,8, на супесчаной – 5,6–6,2, а на суглинистой – при pH 5,6–6,5. Обобщенные данные опытов, проведенных в Беларуси, указывают на высокую эффективность известкования (табл. 8.2).

Общая прибавка урожая от известкования на суглинистых почвах несколько выше, чем на супесчаных почвах, однако удельная эффективность, на 1 т внесенной извести, на супесчаных почвах выше. Независимо от культуры установлено существенное снижение агрономической эффективности у менее кислых почв. Из зерновых наиболее отзывчивы на известкование озимая пшеница и ячмень, из пропашных – сахарная свекла и кормовые корнеплоды, из кормовых – многолетние травы.

В целом под все сельскохозяйственные культуры, возделываемые на пашне, окупаемость 1 тонны CaCO_3 урожаем составила 0,93 кормовых единиц при pH 4,1–4,5; 0,70 при pH 4,6–5,0 и 0,48 ц/га при pH 5,1–5,5.

Большинство почв луговых угодий Беларуси также имеет кислую от природы реакцию, которая часто является лимитирующим фактором в повышении продуктивности лугов. Известкование сенокосов и пастбищ, кроме повышения урожаев сена и пастбищного корма, существенно обогащает почву кальцием и магнием, которых травы потребляют очень много; снижает содержание подвижных алюминия, железа, марганца.

Таблица 8.2. Нормативы прибавок урожая основных культур от извести

Культура	Исходная рН	Прибавка урожая, ц/га			
		суглинистые почвы		супесчаные почвы	
		всего	на 1 т Са- СО ₃	всего	на 1 т Са- СО ₃
Озимая пшеница	4,5 и ниже	5,1	0,64	4,9	0,82
	4,6–5,0	2,9	0,45	2,7	0,54
	5,1–5,5	2,2	0,44	1,8	0,45
Озимая рожь	4,5 и ниже	3,0	0,38	2,7	0,45
	4,6–5,0	2,1	0,32	1,5	0,30
	5,1–5,5	1,1	0,22	0,9	0,23
Ячмень	4,5 и ниже	4,4	0,55	4,3	0,72
	4,6–5,0	3,0	0,46	2,8	0,56
	5,1–5,5	2,2	0,44	1,8	0,45
Овес	4,5 и ниже	2,8	0,35	3,0	0,50
	4,6–5,0	2,3	0,35	2,3	0,46
	5,1–5,5	1,4	0,28	1,3	0,33
Картофель	4,5 и ниже	19	2,4	17	2,8
	4,6–5,0	15	2,3	14	2,8
	5,1–5,5	6	1,2	5	1,3
Сахарная свекла	4,5 и ниже	80	10,0	70	11,7
	4,6–5,0	60	9,2	50	10,0
	5,1–5,5	35	7,0	30	7,5
Кормовые корнеплоды	4,5 и ниже	120	15,0	110	18,3
	4,6–5,0	50	7,7	45	11,3
	5,1–5,5	15	3,0	15	3,8
Кукуруза (зеленая масса)	4,5 и ниже	70	8,8	60	10,0
	4,6–5,0	40	6,2	30	6,0
	5,1–5,5	20	4,0	15	3,8
Клевер (сено)	4,5 и ниже	21	2,6	17	2,8
	4,6–5,0	13	2,0	11	2,2
	5,1–5,5	7	1,4	5	1,3
Многолетние злаковые травы (сено)	4,5 и ниже	18	2,3	15	2,5
	4,6–5,0	10	1,5	9	1,8
	5,1–5,5	7	1,4	6	1,5
Однолетние травы (сено)	4,5 и ниже	11	1,4	9	1,5
	4,6–5,0	7	1,1	6	1,2
	5,1–5,5	5	1,0	5	1,3
Все культуры (кормовые единицы)	4,5 и ниже	6,3	0,79	5,6	0,93
	4,6–5,0	4,0	0,62	3,5	0,70
	5,1–5,5	2,3	0,46	1,9	0,48

Это также снижает темпы вырождения травостоев, способствует повышению содержания в них ценных видов трав, повышает питательную ценность корма за счет улучшения ботанического и химического состава, особенно в бобово-злаковых травостоях.

В эффективности известкования лугов и пастбищ большую роль и способ ее заделки в почву. В условиях беларуси наиболее рациональным является внесение извести в стандартных дозах под культивацию при перезалужении.

Положительная роль известкования многогранна и имеется значительное количество экспериментов, свидетельствующих о заметном влиянии извести на химический состав и другие показатели качества растений. О.К. Кедров-Зихман считал, что при известковании улучшается химический состав растений, растет содержание хлорофилла, углеводов, сахаров, крахмала, жира в семенах, каротина, аскорбиновой кислоты. Известкование в сочетании с магнием и бором улучшает даже такой, казалось бы, не связанный с внесением извести показатель как посевные качества семян, передающиеся из поколения в поколение. По современным данным, при известковании в ряде случаев повышается содержание аминокислот в зерне зерновых культур, крахмала в клубнях картофеля, сахара в корнеплодах сахарной свеклы, сырого протеина в кормовых культурах, а химический состав растений меняется слабо.

Долгое время известкование повышало и эффективность минеральных удобрений, в первую очередь азотных, что объяснялось преобладанием сильнокислых почв и бедностью почв беларуси элементами питания. В настоящее время существует скорее обратная тенденция: увеличение pH сверх 6,0 обычно снижает окупаемость удобрений. И удобрения, особенно фосфорные, влияют на эффективность известкования, несомненен факт ослабления негативного действия повышенной кислотности при улучшении минерального питания.

Эффективность калийных удобрений при известковании обычно увеличивается, так как доминирование кальция в поглощающем комплексе почв часто затрудняет поступление калия из почвы в растения, а при внесении калийных удобрений этот антагонизм устраняется или ослабляется. Известкование также увеличивает потребление калия растениями, что усиливает обеднение почвы калием.

С целью учета влияния уровня кислотности почв беларуси на эффективность калийных удобрений Т.Н. Кулаковской (1990) предложены поправочные коэффициенты на pH, но только для культур-кальцефобов

(льна, картофеля, люпина): при pH 5,6-6,0 в 1,1 раз, 6,1-7,0 в 1,2 раз, при pH более 7 в 1,3 раз.

При внесении извести величина прибавок урожаев от органических удобрений имеет тенденцию к снижению. Внесение органических удобрений в свою очередь сказывается на эффективности известкования. Известкование особенно эффективно на бедных почвах, а любое улучшение питательного режима, в том числе унавоживание, снижает агрономический эффект. Иными словами, благодаря проведению известкования можно снизить экологическую нагрузку на почву, без ущерба для урожая уменьшив дозы азотных, фосфорных и органических удобрений.

Внесение извести снижает кислотность любых почв, как обменную, так и гидролитическую. Степень этого снижения зависит от доз извести и от свойств самой почвы, в первую очередь исходного уровня кислотности, от типа и гранулометрического состава почв, содержания в них гумуса (табл. 8.3). Удельная эффективность извести в нейтрализации почвенной кислотности снижается с ростом ее доз и исходной величины pH.

Таблица 8.3. Обобщенные нормативы расхода CaCO_3 для сдвига реакции среды основных почв Беларуси на 0,1 pH

Группы почв	Исходная величина pH в KCl	Расход CaCO_3 (т/га) для сдвига на 0,1 pH	Сдвиг pH от 1 т/га CaCO_3	Прогнозируемая величина pH от применения рекомендуемых доз
Дерново-подзолистые суглинистые	4,5 и ниже	0,75	0,13	5,0–5,6
	4,51–5,0	0,87	0,11	5,3–5,8
	5,01–5,5	1,10	0,09	5,6–6,1
	5,51–6,0	1,38	0,07	5,8–6,3
Дерново-подзолистые супесчаные	4,5 и ниже	0,68	0,15	4,9–5,5
	4,51–5,0	0,79	0,13	5,2–5,7
	5,01–5,5	1,00	0,10	5,5–6,0
Дерново-подзолистые песчаные	4,5 и ниже	0,61	0,16	4,8–5,4
	4,51–5,0	0,72	0,14	5,1–5,6
	5,01–5,5	1,12	0,09	5,3–5,8
Торфяно-болотные	4,0 и ниже	0,99	0,10	4,6–5,2
	4,01–4,5	1,20	0,08	4,6–5,2
	4,51–5,0	1,62	0,06	4,8–5,2

Неоднократно делались попытки определить единый критический уровень, выше которого известкование становится неэффективным. Это происходило на дерново-подзолистых почвах при достижении pH солевого от 5,5 до 6,0. Первым, кто писал об оптимальном уровне pH почв Бела-

руси, был, вероятно, О.К. Кедров-Зихман, утверждавший, что слабокислая среда оптимальна для большинства сельскохозяйственных культур и в севообороте необходимо поддерживать рН 5,6–5,8 в солевой вытяжке или 6,2–6,5 – в водной. Важную роль в эффективности известкования играет и обеспеченность почвы фосфором. Увеличение содержания доступного фосфора или гумуса сдвигает оптимальный показатель рН в кислую сторону.

В целом оптимальный уровень реакции почвы – интегрирующий показатель, обобщающий влияние биологических и сортовых особенностей культур и других факторов, наиболее значимы из которых содержание фитотоксичных катионов (водорода, алюминия, железа, марганца), содержание гумуса, фосфора и калия, гранулометрический состав почв, условия микробиологической деятельности, степень подвижности микроэлементов и экологические аспекты. Основными в условиях Беларуси являются факторы биологических особенностей культур и гранулометрического состава почв, то есть в простейшем виде оптимальные параметры рН должны быть дифференцированы по основным севооборотам и группам почв (табл. 8.4).

Таблица 8.4. Оптимальные уровни кислотности почв Беларуси (рН в KCl) для различных севооборотов (при среднем содержании гумуса и подвижного фосфора)

Севооборот	Песчаные	Супесчаные	Легко- и средне-суглинистые	Тяжелосуглинистые и глинистые	Торфяно-болотные
полевой со льном, картофелем, овсом, озимой рожью, люпином (60 % и более)	5,3	5,4	5,5	5,7	–
полевой с ячменем, клевером, пшеницей, однолетними и многолетними травами (60 % и более)	5,5	5,6	5,7	5,9	–
овощной; овощекормовой; прифермский; с корнеплодами, люцерной, кукурузой (50 % и более)	5,7	5,8	5,9	6,1	–
В среднем	5,5	5,6	5,7	5,9	5,1–5,5
Для любых севооборотов в зоне > 5 Ки/км ² (¹³⁷ Cs) или > 0,3 (⁹⁰ Sr)	5,8	6,0	6,3	–	5,3–5,8

Совокупность проведенных в республике исследований показывает, что известкование кислых почв способствует снижению поступления радиоактивных цезия-137 и, особенно, стронция-90 в растениеводческую продукцию. Минимальное поступление обычно фиксируется при оптимальных значениях pH, поэтому в загрязненной зоне известкование должно проводиться повышенными дозами мелиорантов, способствующими ускоренной оптимизации кислотности. Если на большинстве полей приоритетным является наибольшая экономическая отдача от известковых мелиорантов, то в загрязненной зоне приоритет должен отдаваться максимальному снижению поступления радионуклидов в продукцию.

Известкование сказывается и на подвижности микроэлементов и тяжелых металлов. К тяжелым металлам в широком смысле относятся металлы с плотностью свыше 5 г/см^3 , в частности хром, цинк, марганец, железо, кадмий, кобальт, никель, медь, молибден, свинец. Собственно тяжелыми считают ртуть, кадмий, свинец, мышьяк (большая четверка), из которых для условий Беларуси особенно актуальны кадмий и свинец.

Многие из этих элементов в обычных условиях являются микроэлементами, жизненно необходимыми для растений, хотя и в небольших количествах, и только при избытке они должны рассматриваться как тяжелые металлы, опасные для здоровья людей и животных, поэтому важное значение приобретает количественная сторона. Оценка содержания этих элементов в почвах и растениях затруднена отсутствием четких предельно-допустимых концентраций (ПДК) в литературе. Согласно “Методике ведения мониторинга земель Республики Беларусь” допускается содержание валовых Cu 10–20, Cd 1–1,5, Pb 15–20, Zn 40–70 мг/кг. Критический уровень – 50, 3, 30 и 100 мг/кг. В питьевой воде допускается иметь 45 мг/л нитратов, 500 сульфатов, 350 хлоридов, 0.5 бора, 1 меди, 0.25 молибдена.

Известкование является дешевым средством снижения поступления тяжелых металлов в культурные растения. Не снижая обычно содержания подвижных форм микроэлементов и тяжелых металлов в почве, известкование способствует их сорбции при загрязнении почвы тяжелыми металлами и, главное, заметно уменьшает их поступление в растения. Вместе с тем важно избегать переизвесткования почв из-за возможного дефицита микроэлементов для роста растений.

Из большого разнообразия **форм известковых материалов** основным, безраздельно доминирующим в республике, является в настоящее время доломитовая мука. Его основным достоинством является наличие наряду с кальцием и магния, недостаток которого часто играл негативную роль в процессе роста и развития культурных растений, особенно на

легких почвах. Именно использование доломитовой муки позволило практически решить проблему обеспечения растений магнием. Республика Беларусь обладает большими запасами разведанного карбонатного сырья, пригодного для промышленного производства известковых мелиорантов, не лимитирующими объемов производства и внесения извести в почву. Только промышленные запасы доломитов Витебского месторождения (Руба) оцениваются в 460 млн. тонн. В республике имеется также более 200 месторождений мела с общими запасами 3500 млн. тонн (350 млн. тонн пригодно для промышленной разработки). На базе доломитов организовано производство доломитовой муки, составлявшее в 1970 году 1 млн. тонн, но постепенно производственные мощности ПО "Доломит" выросли до 6 млн. тонн. Это полностью обеспечивает потребность страны в извести и доля этой формы извести в последние годы приближалась к 100 %. Производство доломитовой муки было налажено, исходя из концепции о равноценности кальция и магния в нейтрализации кислотности.

В настоящее время актуальной является проблема снижения остроты топливно-энергетической ситуации и разработки энергосберегающих технологий и менее энергоемких производств. Эффективным путем энергосбережения при известковании кислых почв является частичная замена доломитовой муки местными дешевыми известковыми мелиорантами, в первую очередь дефекатом, который является отходом свеклосахарного производства и нуждается в утилизации. В сухом виде содержит 63–80 % CaCO_3 , до 10–15 % органического вещества, 0,2–0,5 азота, 0,2–0,7 фосфора, 0,6–1,0 % калия. На сахарных заводах республики ежегодно накапливается 90–120 тыс. т дефеката, общие накопленные ориентировочные запасы превышают 1 млн. тонн. Основные сложности при применении дефеката: – в естественном состоянии дефекат содержит около 50 % влаги и применять его можно после подсушивания; – дефекат содержит свободный гидрат окиси кальция – $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Дефекат Слуцкого сахарного завода, по нашим данным, содержит: Cd – 0,025 мг/кг, Zn – 12,0, Cu – 3,6, Ni – 0,68 мг/кг при влажности 25–30 % и отмечены лишь следы Pb и Cr, то есть известкование почв дефекатом не представляет экологической угрозы для почвы. Проведение известкования почв дефекатом значительно (в отдельных случаях до трех раз) дешевле, чем доломитовой мукой и он выгоден для применения в агрохимической службе республики.

Перспективным мелиорантом для поддерживающего известкования почв сельскохозяйственных угодий является сыромолотый доломит. Он обеспечивает большую длительность и постепенность взаимодействия с почвой, при его применении снижаются потери кальция и магния от вы-

щелачивания по сравнению с стандартной доломитовой мукой и, главное, комплекс работ по известкованию при этом обходится существенно дешевле.

Общий принцип **определения необходимости внесения извести** – наличие кислой реакции почвенной среды, лимитирующей получение высоких урожаев культурных растений. Обычно на основании полевых опытов с дозами извести определяется для конкретной почвы уровень рН или иного параметра, при котором известкование не приносит должного эффекта в виде роста урожаев или улучшения других показателей плодородия. Почвы с показателями ниже данного уровня считаются нуждающимися в известковании.

Исходя из концепции получения максимальной отдачи от внесенной извести в настоящее время определение нуждаемости почв в химической мелиорации осуществляется по величине pH_{KCl} , как наиболее простой в определении и дающей достаточную информацию о состоянии поглощающего комплекса почв в целях известкования.

Дозы известковых мелиорантов в действующем веществе установлены на основании нормативов расхода известковых удобрений для сдвига реакции почвенной среды на 0,1 рН и дифференцированы в зависимости от гранулометрического состава почв, исходного уровня кислотности (pH_{KCl}), содержания гумуса в почвах, плотности загрязнения территорий радионуклидами. На незагрязненных радионуклидами землях дозировка извести рассчитана на получение максимальной удельной окупаемости извести урожаем. Основной целью известкования почв в зоне радиоактивного загрязнения земель является оптимизация почвенной кислотности и насыщение поглощающего комплекса кальцием и магнием, что требует более высоких доз мелиоранта (табл. 8.5).

На современном этапе в условиях Беларуси целесообразна существующая система внесения традиционных, сравнительно высоких доз извести, которые обеспечивают наибольшую прибавку урожая культур севооборота (табл. 8.5). Исходя из средних данных по скорости подкисления почв, необходимость известкования возникнет не ранее чем через 6–8 лет на песчаных, супесчаных и торфяно-болотных почвах и через 10–12 лет – на суглинистых.

На практике в ряде случаев не соблюдается рекомендуемая доза или не выдерживается ширина прохода агрегатов по полю. Все это может привести к избыточному известкованию поля в целом или отдельных его микроучастков, а в конечном счете к уменьшению величины урожая и снижению его качества.

Возможный вред переизвесткования может быть обусловлен следующими причинами: – вред щелочной реакции; – вред гидрокарбонатов калия и натрия; – увеличение концентрации почвенного раствора; – нейтрализация корневых выделений с соответствующим снижением усвояющей способности растений; – накопление ядовитых продуктов при резком усилении разложения органического вещества; – закрепление фосфора с возможным недостатком фосфорного питания растений; – нарушение обычного хода минерализации органического вещества с задержкой на стадии аммиака; – биология растений; – нарушение физиологического равновесия раствора из-за преобладания Са. При щелочной реакции возможно и появление подвижного алюминия, причем он также вреден, как и на кислой почве.

Таблица 8.5. Дозы известковых мелиорантов (т/га СаСО₃)
для известкования кислых почв пахотных земель

Группы почв	Содержание гумуса, %	рН солевой вытяжки							
		≤ 4,25	4,26 – 4,50	4,51 – 4,75	4,76 – 5,00	5,01 – 5,25	5,26 – 5,50	5,51 – 5,75	5,76 – 6,00
Песчаные	≤ 1,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	–	–
	1,51–3,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	–	–
	> 3,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	–	–
Рыхлосупесчаные	≤ 1,5	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	<u>2,5</u>	–
	1,51–3,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	<u>3,0</u>	–
	> 3,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	<u>3,5</u>	–
Связносупесчаные	≤ 2,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	<u>3,5</u>	<u>3,0</u>
	> 2,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	4,5	<u>4,0</u>	<u>3,5</u>
Легко- и среднесуглинистые	≤ 2,0	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,0	4,5	3,5
	> 2,0	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,0	5,0	4,0
Тяжелосуглинистые и глинистые	любое	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,0	6,0	5,0
	любое	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,0	6,0	5,0
Торфяные	– (12,0)*	8,0	6,5	5,0	3,0	–	–	–	–
	– (19,0)*	<u>13,0</u>	<u>10,0</u>	<u>7,5</u>	<u>5,0</u>	–	–	–	–

Примечание: 3,0 – при уровне загрязнения 1,0–4,9 Ки/км² по Cs-137 или 0,15–0,29 Ки/км² по Sr-90

(12,0)* – для торфяно-болотных почв с рН ≤ 4,0

Неоднократно делались попытки определить нуждаемость почв в известковании через **баланс** оснований или протонов. В качестве приходных статей рассматриваются обычно поступление с осадками, семенами,

навозом, минеральными удобрениями, известью. В качестве расходных статей обычно фигурируют вынос с урожаем, вымывание, нейтрализация кислотных дождей, физиологически кислых удобрений и бесподстилочного навоза. В целом научно-обоснованная ежегодная потребность составляет ныне 2,5 млн. тонн CaCO_3 .

Известкование почв в республике является экономически и энергетически оправданным. Наиболее высокий эффект от внесения извести получен на сильно- и среднекислых почвах (с pH менее 5,0), расчетный уровень рентабельности при известковании почв I группы составляет 70,0 %, второй – 43,4, третьей – 13,6 %, при окупаемости затрат соответственно 2,9; 3,5 и 4,4 года. В среднем энергоотдача, то есть отношение накопленной энергии в прибавке урожая, полученной за счет внесения известковых мелиорантов, к энергозатратам, связанным с известкованием кислых почв, составляет для почв первой группы кислотности – 1,32, второй – 1,06, третьей – 0,79.

Основными положениями современной энергосберегающей системы известкования являются: допустимость поддерживающего известкования в зимний период; гибкое использование технологий внесения извести (прямоточной, перегрузочной, перевалочной) в зависимости от вида мелиоранта и расстояния до известкуемого поля; обеспечение максимально возможной равномерности распределения известкового мелиоранта по поверхности поля путем строгого соблюдения рекомендуемой ширины прохода агрегатов; – приоритетное известкование пахотных почв I и II групп кислотности; – ускоренная оптимизация реакции почв, загрязненных радионуклидами; – дополнительное использование менее энергоемких мелиорантов: сыромолотого доломита, дефеката, местного мела и др.; – использование оптимальных доз известковых мелиорантов; – необходимость известкования почв луговых и пастбищных угодий при обновлении дернины (перезалужении) для более равномерного распределения извести в корнеобитаемом слое.

9. МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

9.1. Классификация и свойства минеральных удобрений

Сырьем для производства минеральных удобрений служат полезные ископаемые (для фосфорных, калийных и др.) и атмосфера (для азотных), а также побочные продукты промышленного производства. В Беларуси производится до 7 млн. т (калийных – 6, фосфорных – 0,25, азотных – 0,75 млн. т) минеральных удобрений, что составляет 680 кг на 1 жителя.

Наша страна является производителем 22 % общемирового выпуска калийных удобрений.

По *содержанию элементов* питания различают **однокомпонентные** и комплексные минеральные удобрения. Однокомпонентные содержат один основной элемент питания: азот, фосфор, калий, магний, бор и т. д. По *агрегатному состоянию* они бывают **твердые, жидкие суспендированные**, а по *строению* — **порошковидные, кристаллические и гранулированные**. Комплексные удобрения содержат два и более элементов питания и в зависимости от технологии производства могут быть *сложными, сложносмешанными и смешанными*.

Та часть удобрения, которая может быть использована растением, называется **действующим веществом** (д. в.). Содержание действующего вещества в удобрениях и мелиорантах выражается в процентах от физической массы: в азотных удобрениях – в расчете на N, в фосфорных – на P_2O_5 , калийных – на K_2O , магниевых – на MgO , известковых мелиорантах – $CaCO_3$. Для пересчета рекомендуемой дозы удобрений, выраженной в килограммах д. в., на физическую массу конкретного вида удобрения дозу N (P_2O_5 , K_2O) умножают на 100 и делят на процент действующего вещества в удобрении. Например, при дозе 70 кг/га азота доза внесения карбамида (мочевины), содержащей 46 % д. в., будет 152 кг/га $[(70 \cdot 100) / 46]$.

Важнейшими *физическими, химическими и механическими свойствами* минеральных удобрений, которые необходимо учитывать при их хранении и транспортировке и от которых зависит эффективность их действия, являются: *растворимость; гигроскопичность; слеживаемость; влагоемкость; рассеиваемость; гранулометрический состав*, а также *прочность гранул*. Кроме того, на сохранность удобрений при хранении влияют такие условия и свойства, как насыпная плотность; угол естественного откоса бурта; способность к расслаиванию (для смешанных удобрений); вязкость; огне- и взрывоопасность, а также свободная кислотность, выделение аммиака.

Влажность не должна превышать значения, утвержденные государственным стандартом и техническими условиями. Так, содержание влаги в сульфате аммония не должно превышать 0,6 %, в аммиачной селитре и мочеvine – 0,2–0,3%, максимальная влажность водорастворимых фосфорных удобрений в зависимости от вида – от 3 до 5 %, калийных – от 1 до 4 %, влажность доломитовой муки – 1,5–3,0 %. При отклонении влажности минеральных удобрений от стандартной существенно меняются их физико-механические свойства, снижается качество.

Гигроскопичность – способность поглощать влагу из воздуха – минеральных удобрений оценивается по 10-балльной системе. Сильной гигроскопичность обладают кальциевая селитра (до 9,5 балла), аммиачная (гранулированная) селитра (9,3); средне- и слабогигроскопичны мочевины (3,6), гранулированный двойной суперфосфат (4,7), хлористый калий (3,2–4,4). При высокой гигроскопичности удобрения слеживаются, гранулы становятся непрочными, ухудшается сыпучесть и рассеиваемость массы. Условия хранения и транспортировки удобрений, требования к упаковке зависят от их гигроскопичности. Без тары допускается перевозить и хранить только слабогигроскопичные удобрения – с баллом 3 и ниже, сильногигроскопичные удобрения (7–10 баллов) хранят в герметичной таре (полиэтиленовых мешках).

Влагоемкость влияет на качество рассеивания (распределения) удобрений. **Слеживаемость** удобрений зависит от их влажности, гигроскопичности, гранулометрического состава, а также условий и продолжительности хранения. Слеживаемость определяется по сопротивлению к разрушению цилиндрика слежавшегося удобрения. Степень слеживаемости оценивается по семибалльной шкале. К сильно слеживающимся удобрениям относятся карбамид (с гранулами 0,2 мм) – 7 баллов, мелкокристаллический хлорид калия – 6 баллов. Слеживаемость карбамида фракций 1–3 мм, сульфата аммония, аммиачной селитры оценивается соответственно 1–2, 2–3, 3–4 баллами. Практически не слеживаются сульфат калия и калимагнезия. Уменьшению слеживаемости удобрений способствуют крупнокристаллические и гранулированные формы выпуска, хранение и транспортировка в герметичной таре.

Рассеиваемость зависит от гранулометрического состава, сыпучести и прочности гранул. Оценивается по 12-балльной системе: чем лучше рассеиваемость, тем выше балл. Равномерность распределения удобрений на поверхности поля зависит также от разбрасывающих органов машин.

Гранулометрический состав, или тонина помола (количество частиц разного размера), определяется механически – просеиванием удобрений через сита. От удельного веса крупных и мелких фракций зависит слеживаемость и рассеиваемость удобрений. При использовании удобрений с однородным гранулометрическим составом центробежными разбрасывателями они равномерно поступают на дозирующее устройство и одинаково распределяются по полю.

Прочность гранул зависит от влажности, размера и формы частиц, плотности упаковки и определяется испытаниями на раздавливание (кгс на 1 см²) и растирание (в %), которые проводятся на специальных приборах.

Плотность – объем 1 т в м³ – учитывается при проектировании складских емкостей. Она зависит от гранулометрического состава удобрений, размера и формы частиц, влажности, гигроскопичности, а также от давления верхних слоев.

9.2. Азотные удобрения

Как химический элемент азот был открыт Резерфордом в 1722 г. Название происходит от греческого *α* – отрицательная частица и «зоо» – жизнь – «не поддерживающий жизни», так как азот не поддерживает дыхания и горения. Позже было установлено, что азот – один из основных элементов, необходимых растениям. Он входит в состав аминокислот, всех простых и сложных белков, нуклеиновых кислот, играющих исключительно важную роль в обмене веществ в растениях и передаче наследственных свойств. Азот содержится в хлорофилле, фосфатидах, алкалоидах, ферментах и во многих других органических веществах растительных клеток. Без азота развитие растений невозможно.

Основными *источниками* азота для растений являются органические и минеральные удобрения, биологический азот, накапливаемый клубеньковыми бактериями и свободноживущими микроорганизмами, а также азот, поступающий с атмосферными осадками и семенами. Главные химические соединения, в которых усваивается азот – нитраты и соли аммония. Они поглощаются растением из раствора и ППК. Минеральный азот превращается в аминокислоты, амиды и наконец в белки. Нитраты и нитриты предварительно восстанавливаются до аммиака (еще в корнях при недостатке углеводов) с помощью нитрат-, нитрит-, гипонитрит- и гидроксиламинредуктазы. В восстановительных ферментах, сопровождающих этот процесс, содержится Mo, Cu, Mn, Fe, Mg. Аммиачный азот затем присоединяется к кетокислотам, образуя аспарагиновую и глутаминовую кислоты (аминирование). Затем происходит переаминирование (образование других аминокислот). Синтез белков осуществляется с участием нуклеиновых кислот. Одновременно идет распад белков, особенно в старых листьях, где он преобладает над синтезом.

В почве происходит и аммонификация – разложение до аммиака микроорганизмами, бактериями, актиномицетами, грибами. Аммонификация хорошо идет в аэробных условиях. Выделившийся аммиак образует соли с органическими кислотами, а также азотной и угольной. Аммоний попадает в состав обменных катионов ППК. Основным соединением азота в цепи всех превращений является аммиак, который часто называют «альфа и омега обмена азотистых веществ в растениях».

Нитрификация – окисление аммиачных солей, хорошо идет в теплых,

умеренно влажных, слабокислых (нейтральных) аэробных условиях. Иными словами, она весной идет медленно, при прогревании и подсыхании усиливается. Денитрификация – образование газообразных форм и потеря азота почвы. В результате денитрификации теряется 15–30 % азота удобрений.

Содержание азота сильно варьирует даже в отдельном растении. До 90 % азота входит в состав белков. Недостаток N ведет к ухудшению роста растений, избыток задерживает созревание и ухудшает качество ряда культур, поэтому не стоит вносить азотное удобрение в рядки при посеве зерновых культур, например. Аммиачные формы лучше усваиваются при нейтральной реакции почвенной среды, нитратные – при кислой pH.

Внесение азотных удобрений увеличивает содержание азота в почве и способствует усилению минерализации органического азота. Из удобрений растения непосредственно усваивают 40–50 % азота, в органической форме закрепляется 10–20 % нитратных и 30–40 % аммиачных и амидных форм (особенно при запашке совместно с органическими удобрениями с низким содержанием азота). Для нитратного азота велика роль биологического поглощения в почве. Вымывание азота невелико, составляет 5–30 (на легких) кг/га. Большее значение имеют газообразные потери. С целью снизить величину потерь азота применяют ингибиторы (замедлители) нитрификации. С органическими удобрениями и семенами в почву возвращается лишь 30–40 % удаленного с урожаем азота. Связывание молекулярного азота клубеньковыми бактериями (до 50 кг/га). По этой причине внесение азотных удобрений является неотъемлемым звеном современной системы применения средств химизации.

Среди большого многообразия азотных удобрений можно выделить 6 основных групп: нитратные, аммонийные, аммонийно-нитратные, амидные, аммиачные, амидно-аммонийно-нитратные. Производство азотных удобрений основано на получении синтетического аммиака на основе молекулярного азота и водорода, пропуская воздух через генератор с коксом в присутствии катализаторов и высоком давлении. Часть получаемого аммиака используется для производства азотной кислоты и далее нитратных, аммонийно-нитратных удобрений. В Беларуси может производиться 580 тысяч тонн азотных удобрений, или 65 % полной потребности (максимальное применение 700 тысяч т д.в., 88 кг/га). Производство азотных удобрений в Беларуси сконцентрировано на ПО «Азот» в г. Гродно.

Нитратные удобрения в Беларуси не применяются, но полезно знать, что кальциевая селитра (13–15 % азота) является заметным атрибутом высокой культуры земледелия.

Аммонийные удобрения представлены преимущественно сульфатом аммония (20,5 % N), который получают улавливанием серной кислотой аммиака или нейтрализацией аммиаком отработанной серной кислоты. Его недостатком является низкое содержание действующего вещества, он физиологически кислый, но сульфат аммония не слеживается, содержит также 24 % д.в. серы, что весьма важно ввиду недостатка серы в наших почвах. Этот вид азотных удобрений очень хорошо применять под картофель, капусту.

Аммонийно-нитратные удобрения представлены аммиачной селитрой, содержащей обычно 34,5 % азота. Выпускается в виде белых, хорошо растворимых гранул, взрывоопасна, физиологически кислая. Именно эта форма азотных удобрений нуждается в затаривании. Пригодна почти под все культуры, но наиболее рационально применять ее при весенних подкормках зерновых культур, сенокосов и пастбищ.

Амидные удобрения представлены карбамидом (мочевиной), содержащей 46 % и являющейся наиболее концентрированным твердым азотным удобрением, что является его главным достоинством. Получают его синтезом из аммиака и углекислого газа при высоких давлениях и температуре. Это – белое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде, гранулированное, физиологически нейтральное. В почве под влиянием фермента уреазы карбамид быстро превращается в карбонат аммония, быстро переходящий в бикарбонат и газообразный аммиак, поэтому рациональное использование этого вида удобрения предусматривает обязательную заделку в почву, то есть использование при основном внесении. Этот вид азотных удобрений неудачен для поверхностных подкормок, но хорош для некорневых подкормок ядохимикатами.

Аммиачные удобрения выделяют двух видов – безводный (жидкий) аммиак и аммиачная вода (водный аммиак). *Безводный аммиак* – самое концентрированное и дешевое удобрение (82,3 % д.в.), но быстро испаряется (особенно из легких почв), выдвигает высокие требования к технологии транспортировки, хранения и внесения, поэтому почти исчез из практики. Аммиачная вода содержит 20,5 % азота, преимущественно в аммиачной форме, что также допускает наличие газообразных потерь при транспортировке и внесении. Аммиачные удобрения рационально использовать под основное внесение с обязательной оперативной заделкой.

Амидно-аммонийно-нитратные удобрения представлены таким удобрением, как КАС. Он представляет собой раствор карбамида и аммиачной селитры, выпускается в трех основных модификациях (28, 30, 32 %), не содержит свободного аммиака, что делает минимальными газообразные потери. Этот вид отличают низкие затраты на производство и применение.

ние, равномерность распределения по поверхности почвы, допустимость для проведения азотных подкормок, то есть этот вид азотных удобрений положительно отличается с экологической точки зрения.

Высокую перспективу ввиду уменьшения потерь и пролонгирования (увеличения срока) действия имеют *медленнодействующие азотные удобрения*. В настоящее время они выпускаются небольшими партиями, но их ассортимент уже достаточно обширен, выпускают карбамид и сульфат аммония с фосфатным, полимерным, гуминовым покрытием. Использование таких удобрений несмотря на 10–20 %-ое увеличение стоимости выгодно, так как примерно на 30 % снижаются потери азота, на 15–30 % – накопление нитратов в продукции, часто увеличивается прибавка урожая по сравнению со стандартными удобрениями.

Азотные удобрения имеют решающее значение в повышении урожая культурных растений, окупаемость 1 кг д.в. урожаем при оптимальных дозах может достигать 15 кг зерна, 100 кг клубней картофеля, 40 кг сена.

9.3 Фосфорные удобрения

Фосфор – один из трех главных элементов питания растений. Это – важный биогенный элемент, необходимый для жизнедеятельности всех организмов. Без фосфорной кислоты не может существовать ни одна живая клетка. Более 90 % фосфора в растении содержится в органических соединениях. В репродуктивных органах фосфора концентрируется в 3–6 раз больше, чем в вегетативных. Фосфор содержится в протоплазме клеток, входит в состав хромосом, нуклеиновых кислот, витаминов, ферментов, фитина. Фосфорная кислота является буфером при обмене углеводов в процессах дыхания и брожения. Фосфор легко образует ряд ковалентных соединений – от простых эфиров до ДНК и РНК. РНК играют роль матрицы, на которую накладываются молекулы аминокислот, ДНК ответственны за передачу наследственных свойств.

В обмене веществ огромную роль играют макроэнергетические вещества, содержащие богатые энергией связи. Особое место занимает АТФ – своеобразный носитель и хранитель энергии. При гидролизе АТФ высвобождается 55 Кдж/моль энергии, тогда как гидролиз обычных связей дает только 8–12 Кдж/моль.

Особенно чувствительны растения к недостатку фосфора в начальный период роста, когда корневая система недостаточно развилась. Фосфор способствует более экономному потреблению влаги, улучшает перезимовку озимых культур. При хорошем фосфорном питании улучшается структура урожая – растет доля зерна, корней и т.д.

Минеральный фосфор улучшает тургор растений, повышает буферность клеточного сока, водоудерживающую способность. На уровень фосфорного питания оказывает влияние как обеспеченность почвы фосфором, так и другими элементами. Так, при недостатке цинка ухудшается потребление фосфора растениями, а высокое содержание меди облегчает фосфорное питание. Фосфорное питание связано с азотным, но фосфора надо в 2–3 раза меньше, очень важна сбалансированность питания по этим элементам.

Фосфор ослабляет вред алюминия на сильноокислых почвах, связывая его, что улучшает азотный и углеводный обмен в растениях. Фосфор реутилизруется. Недостаток фосфора диагностируется по скручиванию краев листьев, фиолетовой и красноватой окраске стеблей и влагалищ листьев. Избыток фосфора ведет к преждевременному созреванию, недостатку цинка.

Фосфор входит в состав костной ткани человека и животных, незаменим в процессе размножения и обмена веществ. Суточная потребность человека в фосфоре 1,0–1,5 г. Есть тесная связь продуктивности животных с одержанием фосфора в корме (оптимумом считается 0,35–0,50 % на сухое вещество).

Основной источник фосфора – соли ортофосфорной кислоты. Большую роль играет степень растворимости солей. Однозамещенные соли кальция и магния, а также соли калия, натрия, аммония – хорошо растворимы. Двухзамещенные соли кальция и магния нерастворимы в воде, но благодаря слабокислой реакции почвенного раствора они играют важную роль в фосфорном питании растений. Трехзамещенные фосфаты большинством растений не усваиваются (кроме донника, эспарцета, конопли, люпина, гречихи, горчицы).

Фосфат-ионы могут быть в почве в обменно-поглощенном состоянии. Оптимальная концентрация P_2O_5 в почвенном растворе – 1,2 мг/л, а обычно содержится 0,05–1,00 мг/л, поэтому необходимо внесение фосфорных удобрений. Минимальная концентрация для большинства культур – 0,01–0,03 мг/л. Корни могут поглощать фосфор с расстояния не более 2 мм, т.е. очень важна равномерность внесения и рядковое внесение фосфорных удобрений.

Общее содержание фосфора в почвах Беларуси мало. В земной коре его содержится 0,12 %, в почвах – 0,14 %. В верхних горизонтах почв фосфора больше, чем в нижних. Доля органических фосфатов колеблется от 16 на песчаных почвах до 48 % на глинистых и 70 % в низинных торфяных почвах. Значительная часть органических фосфатов минерализуется и становится доступной для растений.

Минеральные фосфаты в почве находятся в трех качественно различных больших группах: почвенного раствора (фактор интенсивности), лабильные (фактор емкости – резерв первых), стабильные (в составе первичных минералов фосфоритов, апатитов, варисцитов, вивианитов и т.д.). Известно 205 фосфорсодержащих минералов, но апатиты и фосфориты составляют 95 % всех природных фосфатов.

Степень подвижности фосфатов определяется в 0,01М CaCl₂-вытяжке. Наиболее высокие урожаи формируются при 0,2–0,4 мг/л. Интенсивность поведения фосфора в почве отражает фосфатный потенциал – сумма $0,5pCa + (pH_2PO_4 + 0,5pHPO_4)$.

Для определения запасов подвижных фосфатов в РБ используют метод Кирсанова – определение в 0,2 М HCl-вытяжке при соотношении почва: раствор 1: 5. По этому показателю в настоящее время оптимизировано не более половины полей и лишь 20 % торфяных почв. При окультуривании в почвах возрастает доля наиболее подвижных и связанных с кальцием групп фосфатов, а доля фосфатов железа и алюминия падает.

Запасы сырья для производства фосфорных удобрений крайне ограничены в отличие от азотных. Апатиты (магматическая порода) Хибин Ca₅(PO₄)₃F или Ca₃(PO₄)₂*Ca(F, Cl)₂ обогащаются методом флотации до 40 %-го концентрата – лучшего в мире сырья. Фосфориты (осадочная порода) содержат 15–35 % окиси фосфора. Залежи фосфоритов Могилевской области не имеют промышленного значения. В Гомель на химический завод сырье поступает из Егорьевского, Кингисеппского, Брянского месторождений России.

Водорастворимые фосфорные удобрения наиболее доступны растениям: простой и двойной суперфосфат, аммофос, диаммонийфосфат, нитроаммофоска, кристаллин и др. Менее доступны цитратнорастворимые удобрения – преципитат, томасшлак, фосфатшлак. Труднорастворимые удобрения типа фосфоритной муки в настоящее время практически не применяются. В производстве удобрения получают разложением фосфоритов кислотами, электротермическим восстановлением или (реже) термической обработкой.

Наиболее известным фосфорным удобрением, ныне не производящимся в Беларуси, является двойной суперфосфат (43 % д.в.) – Ca(H₂PO₄)₂ · H₂O. От простого суперфосфата (19 %) он отличается концентрированностью и отсутствием в составе гипса. Оба они пригодны для основного и припосевного внесения. Большая часть фосфора поступает с комплексными удобрениями.

Поглощение фосфатов удобрений регулируется процессами сорбции и химического осаждения. Адсорбция происходит на близких к поверх-

ности гидроксильных группах оксидов Al и Fe, а также на боковых гранях частиц глинистых минералов.

Химическое поглощение происходит за счет реакций типа $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 2\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$.

Емкость поглощения фосфат-ионов составляет от 800 на песчаных до 3000 мг/кг на глинистых почвах. Для увеличения содержания фосфора на 10 мг/кг почвы нужно вносить 40–60 кг/га сверх выноса на (су)песчаных и 60–120 суглинистых и глинистых, в среднем требовалось 86 кг/га. Если довести содержание фосфора до оптимального, то в дальнейшем можно только компенсировать вынос и получать высокие урожаи культур.

Непременным условием рационального использования Р-удобрений является их заделка в корнеобитаемом слое, так как они малоподвижны. Отмечается высокий эффект рядкового 10–20 кг/га внесения в сочетании с основным (до 120 кг/га).

Из минеральных удобрений в год внесения используется лишь 15–20 % фосфора, а за ротацию – до 40 %. Из органических удобрений поступает 2,0–2,5 кг фосфора на 1 т компоста. Подкормки культурных растений фосфором нецелесообразны.

5.4. Калийные удобрения

Калий в растительных организмах находится в ионной форме и не входит в органические соединения, до 80 % находится в клеточном соке. Калий стабилизирует структуру фторопласта и коллоидное состояние цитоплазмы, повышает обводненность, вязкость, набухаемость. Он положительно влияет на фотосинтез, окислительные процессы и образование органических кислот, повышает активность ферментов, устойчивость растений к болезням.

Калия сравнительно больше в молодых частях растений, в соломе. При недостатке калия происходит побурение краев и кончиков листьев, ржавые пятна. Особенно чувствительны к недостатку калия картофель, корнеплоды, капуста, многолетние травы.

Почти все почвы содержат калия в 5–10 раз больше, чем азота и фосфора. Его содержание колеблется от 0,5 до 3,0 %. Больше калия в почвах с большей долей глинистой фракции, в торфяных почвах калия только 0,03–1,00 %. Однако большая часть калия находится в недоступной для растений форме. В горных породах и минералах находится до 98–99 % калия (полевые шпаты, слюды и гидрослюды). Этот калий доступен лишь после выветривания. Водорастворимого калия в почвах лишь 1–7 мг/кг почвы. Обменный калий – основной источник калийного питания растений. Калий органического вещества становится доступным только после

минерализации. Необменный (прочнофиксированный) калий труднодоступен для растений из-за прочной связи с кристаллической решеткой.

Доля обменного калия колеблется от 0,5 % (пески) и 0,8 % (супеси) до 2–3 % от общего содержания калия. Между формами калия в почве существует динамическое равновесие, т.е. переход из формы в форму. Степень подвижности калия выражается калийным потенциалом, то есть изменением свободной энергии в реакциях обмена между ионами калия и кальция (магния) $pK-0,5pCa$. Чем больше потенциал, тем ниже способность калия к переходу в раствор. Оптимумом считается величина 1,8–2,2.

Основная часть калия находится в нетоварной части урожая и он в сильной мере возвращается в почву. Однако вынос калия довольно велик, заметны и потери с вымыванием (до 15 кг/га) и эрозией (до 20 кг/га), поэтому очевидна необходимость компенсации теряемого калия внесением с удобрениями.

Сырьем для производства калийных удобрений являются природные калийные соли. Соликамское и Белорусское (карналлит и сильвинит) месторождения являются одними из крупнейших в мире. Полная потребность РБ – 900 тысяч тонн, применялось 692 (1992 г.), 458 (1998 г.) и 450 (2001 г.). Хлористый калий является основной формой, сульфат калия применяется в количестве лишь 7 тысяч тонн, до 10 тысяч тонн используется в составе комплексных удобрений. Хлористый калий содержит 57–60 % K_2O , хорошо растворим в воде. Его получают разделением сильвинита на хлориды калия и натрия гидроциклонным способом, а также галургическим и флотационным обогащением руд. Сернокислый калий – 46–50 % K_2O , особенно хорош под картофель, лук, огурцы. 40 %-ая калийная соль получается добавлением сильвинита в KCl , хороша для корнеплодов за счет наличия натрия в его составе.

Калийные удобрения хорошо растворимы в воде, быстро переходят в обменное и необменное состояние. Оставшийся хлор легко вымывается. Степень использования калия удобрений весьма высока – 60–70 %. На связных почвах К-удобрения вносят с осени, на легких – весной. При длительном применении высоких доз К-удобрений возможно подкисление почв.

Следует учитывать, что необменное поглощение может составлять от 14 до 82 % внесенного калия. Оно характерно для трехслойных глинистых минералов (монтмориллониты и гидрослюды). На легких почвах необменное поглощение значительно меньше. Механизм фиксации: катионы проникают в межпакетные пространства, когда они имеют максимальные размеры (в стадии набухания) и в сетке кислородных атомов тетраэдрических пустот занимают гексагональные пустоты. Фиксация

усиливается при высушивании, поэтому важна заделка калийных удобрений. От вида К-удобрений фиксация калия практически не зависит. Растение потребляет все формы калия, но в разных количествах.

При определении доз калийных удобрений учитывается обеспеченность почв калием, биология культуры, гранулометрический состав почв, уровень планируемого урожая и его качество. Для большинства культур достаточно 60–90 кг/га, для свеклы, картофеля и овощей – 90–150 кг/га. На торфяных почвах дозы немного выше. В подкормку калийные удобрения не вносят. На переизвесткованных почвах, особенно под лен и картофель, целесообразно увеличить дозы калия на 20 %.

Использование калия из удобрений составляет 12–50 % в год внесения, их хорошо вносить вместе с органическими удобрениями. Как и при использовании других видов минеральных удобрений крайне важна сбалансированность, оптимальное соотношение под данную культуру в конкретных условиях с азотными и фосфорными удобрениями.

9.5. Микроудобрения

Кроме макроудобрений, которые в первую очередь требуются для нормального развития растений, необходимо обеспечить снабжение растений и микроэлементами, которых требуется на порядок меньше, но роль их также очень важна. Микроэлементы участвуют во всех жизненно важных процессах роста и развития растений (окислительно-восстановительных процессах, углеводном и азотном обмене, образовании хлорофилла), входят в состав ферментов и витаминов, влияют на проницаемость клеточных мембран, улучшают качество продукции, повышают устойчивость к многим заболеваниям.

Сера по значимости относится к микроэлементам, хотя по содержанию в растениях ее можно отнести и к макроэлементам. Сера входит в состав белков, аминокислот, антибиотиков. Велика ее роль в окислительно-восстановительных процессах, синтезе белков и хлорофилла, сера сдерживает накопление нитратов в клубнях. Особенно много серы в масличных культурах и в семенах бобовых.

Запасы доступной серы в почвах Беларуси обычно составляют 30–90 кг/га. Большая часть серы находится в недоступных органических формах, среднее содержание в почвах составляет 6–12 мг/кг почвы. Слабообеспеченные серой почвы составляют лишь 1/5 часть почв республики, потребность в специальном внесении серных удобрений невелика. Сера поступает в почву с навозом, простым суперфосфатом, сульфатами калия и аммония, торфом. При малой обеспеченности рекомендуется вносить 3–5 ц/га фосфогипса. Много серы поступает с атмосферными осадками, в

среднем выпадает 6,9 мг сульфатов на 1л осадков, что составляет примерно 40 кг/га и является достаточным для большинства культурных растений.

Потребность в микроудобрениях растет из-за увеличения их выноса, больших объемов известкования и в целом вследствие повышения интенсификации земледелия. Рост внесения фосфорных удобрений обычно увеличивает потребность в цинке, калийных – в магнии, боре, азотных – в меди и молибдене. Дефицит **меди** имеют примерно 60 % почв пашни Беларуси, **цинка** – 70 %, **бора** – 15 %, **молибдена** – 90 %. Особенно бедны микроэлементами торфяно-болотные почвы. Подвижные формы марганца, меди, молибдена, **кобальта** составляют 10–20 % от валовых, цинка – 2–5 %, бора – 1–2 %.

Внесение микроудобрений считается необходимым при слабой обеспеченности почвы их подвижными формами. Использование микроэлементов возможно тремя основными способами: в основное внесение, в виде некорневых подкормок, путем обработки семян. Промышленные удобрения с микроэлементами или механические смеси микроудобрений и макроудобрениями следует вносить в основное внесение.

Медные удобрения вносятся в дозе 2–3 кг/га практически под все культуры, обычно в форме медного купороса; цинковые – 2–3 кг/га д.в. под все культуры, кроме многолетних злаковых трав, обычно в форме цинкового купороса; борные – в дозе 0,5 кг/га под крестоцветные, зернобобовые, лен, 1,8 кг/га под картофель и корнеплоды. Молибдат аммония в основное внесение не вносят. На торфяно-болотных почвах особенно важны медные удобрения.

Дозы микроудобрений при обработке семян существенно снижаются: до 50–100 (зерновые, лен, крестоцветные) и 200–300 г/ц семян (корнеплоды, многолетние травы) сульфата меди; до 70–100 г (зерновые, лен, крестоцветные) и 200–300 г/ц (корнеплоды, многолетние травы) сульфата цинка; до 30–100 г/ц (зернобобовые, лен, крестоцветные) и 120–200 г (корнеплоды, многолетние травы) борной кислоты; до 40–60 г/ц (зернобобовые), 100–120 г (крестоцветные) и 250–300 г/ц (многолетние бобовые травы) молибдата аммония.

Оптимальный способ обработки семян – комплексный совместно с протравителями и бактериальными препаратами. Но общее количество микроэлементов в растворе не должно превышать 1 кг д.в. на 1 т семян. В качестве пленкообразователей обычно используется водный 2 %-ый раствор КМЦ. Возможно опудривание семян, что требует увеличенных примерно на 25 5 доз.

Некорневые подкормки производят на посевах, расположенных на почвах 1 и 2 групп обеспеченности. Обычно подкормки микроэлементами сочетают с азотными или внесением ядохимикатов.

Другие виды микроудобрений используют значительно реже. Под большинство культур при низкой обеспеченности целесообразно вносить в условиях Беларуси сернокислый кобальт в дозе 0,3–0,5 кг/га. При высоком значении рН почвы часто очень эффективны **марганцевые** удобрения, которые можно вносить всеми тремя способами в дозах 2–5 кг/га при внесении в почву и 200–500 г/га при некорневых подкормках.

9.6. Комплексные удобрения

Комплексными называются такие удобрения, которые содержат не менее двух главных элементов питания. По составу они разделяются на двойные и тройные. По способу производства они делятся на сложные, смешанные и сложно-смешанные. Особняком стоят жидкие комплексные удобрения (ЖКУ), при изготовлении которых используют жидкие, твердые, газообразные продукты и добавки. В основном при их производстве используются технологии азотнокислого разложения фосфатного сырья. Сложные удобрения имеют примерно одинаковый размер кристаллов или гранул. Сложно-смешанные получают смешением готовых однокомпонентных и сложных удобрений и введением в смесь жидких и газообразных продуктов (кристаллин). Смешанное минеральное удобрение получается путем механического смешивания готовых порошковидных, кристаллических или гранулированных удобрений либо в заводских условиях, либо на специальных тукосмесительных установках.

Аммофос ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) содержит 10–12 % азота и 46–52 % фосфора, получается путем нейтрализации фосфорной кислоты аммиаком. Это удобрение хорошо растворимо в воде, мало гигроскопично, самое распространенное из комплексных удобрений. Его можно вносить в основное внесение под любые культуры.

Аммофосфат содержит 6 % азота и 46 % фосфора, большая часть которого находится в водорастворимой форме. Технологически аммофосфат получается путем разложения фосфоритов при избытке фосфорной кислоты, нейтрализации аммиаком кислых продуктов и последующего гранулирования и сушки. По сравнению с аммофосом это удобрение менее концентрированное, но более дешевое.

Другие твердые комплексные удобрения используются сравнительно реже: нитрофоска (11–10–11), нитрофос (13–17), диаммофос ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (18–50), нитроаммофоска (17–17–17), нитроаммофос (23–23), азофоска

(16–16–16), кристаллин (20–16–20), аммонизированный суперфосфат (3–20 или 7–33).

Жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) представляют собой водные растворы или суспензии, содержащие два и более элемента питания. Наиболее распространен ЖКУ, содержащий 10 % азота, 34 % фосфора. Этот вид жидких удобрений не нуждается в аппаратуре с высоким давлением для транспортировки и хранения, как при использовании безводного аммиака. Это удобрение пригодно под любые культуры, но в последнее время применяется мало.

Смешанные удобрения (тукосмеси) требуют сравнительно меньших энергозатрат для комплекса работ по внесению. Основные требования к тукосмесям – хорошая сыпучесть и несслеживаемость.

9.7.Технология применения минеральных удобрений

В вопросах повышения эффективности использования средств химизации и снижения негативных экологических воздействий на почву большое значение имеет правильная организация хранения, перевозки и внесения удобрений и мелиорантов. Транспортировка средств химизации проводится обычно по железной дороге, на прирельсовом складе районного объединения «Агросервис» производится разгрузка, хранение, погрузка в автомобильный транспорт. Далее удобрения и мелиоранты вывозятся непосредственно на поля или в склад хозяйства.

Внесение удобрений обычно осуществляется непосредственно аграрным товаропроизводителем. Большая часть всех удобрений вносится в *основное* внесение, то есть до посева. Под многие культуры (картофель, корнеплоды, однолетние травы, лен) этим приемом вносится вся необходимая норма удобрений. С целью снижения нагрузки на весенний период под яровые культуры часто с осени вносят фосфорные и калийные на связных почвах, органические удобрения, жидкий аммиак.

Припосевное внесение осуществляется преимущественно при посеве зерновых культур и сахарной свеклы и чаще всего осуществляется фосфорными удобрениями в дозах 10–20, реже 30 кг/га, так как именно фосфор особенно нужен растению в период прорастания семян и начального роста, а также по причине слабой подвижности фосфора в почве.

Подкормка особенно эффективна азотными удобрениями ранней весной на озимых зерновых культурах, реже яровых зерновых культурах; многолетних травах. Интенсивные технологии возделывания озимой пшеницы предусматривают до трех подкормок азотом.

С точки зрения характера распределения удобрений по поверхности почвы различают разбросное, локальное, запасное внесение. Обычно применяется разбросное внесение центробежными разбрасывателями, что сравнительно просто. Основным недостатком этого способа является высокая неравномерность распределения частиц удобрений, что существенно снижает урожай. При локальном внесении удобрения максимально приближены к семенам, что облегчает питание растений. Этот способ применяется в основном при припосевном внесении через сеялку. Локальное внесение другими способами требует специальных машин и почти не используется. Внесение удобрения в запас, как говорят агрохимики, представляет собой не что иное, как химическую солеобогатительную мелиорацию в чистом виде. При этом способе доза удобрений рассчитывается не только на компенсацию выноса данного питательного элемента с урожаями культур, но и на увеличение запасов подвижных форм фосфора и калия в почве (табл. 9.1). Во времена СССР существовала специальная программа комплексного агрохимического окультуривания полей (КАХОП), целью которой было не только повышение урожаев, но и повышение потенциального плодородия почв.

Таблица 9.1. Нормативы расхода фосфорных и калийных удобрений сверх выноса с урожаями для увеличения содержания подвижных их форм в дерново-подзолистых почвах на 10 мг/кг, кг/га д.в.

Гранулометрический состав	Исходное содержание P_2O_5 , мг/кг		Исходное содержание K_2O , мг/кг	
	Менее 150	Более 150	Менее 140	Более 140
Суглинистые	50	65	65	90
Супесчаные	45	50	60	80
Песчаные	40	45	55	70

10. ОРГАНИЧЕСКИЕ И БАКТЕРИАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Органические удобрения содержат элементы питания в форме органических соединений растительного и животного происхождения. Они применяются уже более 3 тысяч лет и оказывают комплексное воздействие на эффективное и потенциальное плодородие почв: повышают урожай, улучшают физико-химические и буферные свойства, водный и воздушный режим, активизируют микробиологическую деятельность. В мире ежегодно используется до 4 млрд. т органических удобрений, в Беларуси – 45 млн. В лучшие годы в стране использовалось до 80 млн.

т, что составляет примерную потребность сельского хозяйства нашей страны в органических удобрениях. Навоз никогда не теряет своего значения, как бы ни были велики успехи в производстве минеральных удобрений. В настоящее время считается, что для бездефицитного баланса гумуса в Беларуси надо вносить 12 т/га, положительного – 15 т/га органических удобрений.

Органические удобрения оказывают всестороннее действие на свойства почвы и при правильном использовании существенно повышают урожаи культур. В их составе в почву поступают все необходимые элементы питания. С 1 т сухого вещества поступает 20 кг N, 8 P₂O₅, 20 K₂O, 28 CaO, 6 MgO, 4 SO₃, 25 г B, 230 г Mn, 20 г Cu, 100 г Zn, 2 Mo, 0,4 г I. Отсюда следует большое народнохозяйственное значение рационального использования органических удобрений.

От минеральных они отличаются малым содержанием действующего вещества – десятые и менее доли процента. Внесение большинства видов органических удобрений является повторным использованием части питательных веществ, ранее использованных для растениями для создания урожая. До 40 % питательных веществ вносится с органическими удобрениями.

С навозом в почву поступает и CO₂ (при их разложении), насыщая почвенный и приземной воздух и улучшая воздушное питание растений. Чем выше норма навоза, тем лучше воздушное питание, так как на формирование среднего урожая зерна нужно 100 кг CO₂ ежедневно. Внесение 30 т/га ОУ обеспечивает поступление до 200 кг/га.

Органические удобрения – энергетический материал и источник пищи для почвенных микроорганизмов (усиливается деятельность азотфиксаторов, аммонификаторов, нитрификаторов и др.). Они улучшают агрохимические свойства почв, биологический, физический, химический, воздушный и водный режим. Растет содержание гумуса, ЕКО, степень насыщенности, снижается кислотность (на кислых почвах), повышается буферность.

Питательные вещества навоза равноценны таковым в минеральных удобрениях в отношении урожаев культур. Оптимальным вариантом является совместное их применение для компенсации недостатков друг друга, создания оптимального соотношения элементов питания. Большинство питательных веществ становится доступным только после минерализации, поэтому органические удобрения действуют до 3 лет и непригодны в подкормку. При оптимальных дозах влияние органических и минеральных удобрений не только суммируется, но и дает прибавку (10 % по картофелю по данным ВИУА). Ежегодно минерализуется около

1 т/га гумуса, поэтому необходима компенсация. За счет растительных остатков компенсируется 40–50 % потерь, остальное – за счет органических удобрений. В Беларуси 27 % почв содержат менее 1,5 % гумуса, и именно на них особенно важны органические удобрения. В среднем в минеральных почвах Беларуси содержится 2,2 % гумуса.

К органическим удобрениям относятся навоз, навозная жижа, торф, фекалии, птичий помет, компосты, сапропель, хозяйственные отходы, зеленое удобрение и т.п. Первое место по значимости занимает навоз. Органические удобрения состоят из экскрементов животных и подстилки (солома, торф). Различают подстилочный (75 % воды) и бесподстилочный навоз.

Подстилочный навоз – основное удобрение, смесь жидких и твердых экскрементов с подстилкой. Для ликвидации семян сорных растений, болезнетворных бактерий, возможности загрязнения окружающей среды необходимо использовать не свежий, а полуразложившийся навоз. Перегнивший или перепревший навоз получать нерационально из-за высоких потерь органического вещества и азота. Лучший подстилочный навоз – солоmistый. Выход навоза составляет 7 т на 1 голову КРС за стойловый период, свиного – 1,5 т на 1 голову. Для хранения применяют горячий (рыхлый) и холодный способы хранения, причем лучше холодный. При хранении растет содержание белкового азота, аммиачного – снижается, нитратного нет вообще. Вносится подстилочный навоз в дозах 40–60 т/га под пропашные, 20–30 – под зерновые и травы. Особенно хорош под огурцы, требующие высокой концентрации солей и CO_2 . Важно заделать сразу после внесения, так как за сутки теряется до 50 % аммиачного азота. Окупается 1 т навоза 38 кг зерна в первый и второй годы (всего до 100 кг). Считается, что в первый год используется 25 % азота, 35 % фосфора и 55 % калия.

Бесподстилочный навоз получают на крупных комплексах. Бесподстилочный навоз бывает полужидкий (до 90 % влаги, более 8 % сухого вещества), жидкий (90–93 % и 3–8 % сухого вещества), навозные стоки (более 93 % и до 3 % сухого вещества). В целом сухого вещества очень мало, причем соотношение углерода к азоту 1:7, что неблагоприятно для накопления гумуса и необходимо одновременно вносить также материалы с высоким содержанием углерода (солома, торф, костра опилки и т.п.). Все виды пересчитываются в условный навоз 75 % влаги (грубо 0,5, 0,2 и 0,06). Хранится бесподстилочный навоз в навозохранилищах, потери азота меньше по сравнению с подстилочным. Может подразделяться на твердую и жидкую фазы. Дозы определяют по азоту (не более 200 кг/га под картофель и травы, 120 – зерновые и 300 – корнеплоды). Вносят и в

подкормку на травах. К его применению необходимы большие экологические ограничения: по нитратам, тяжелым металлам, нельзя при низком уровне грунтовых вод.

Птичий помет – ценное быстродействующее удобрение, особенно для овощеводства. Более концентрированное (дозы 2–5 т/га), содержит много азота в виде мочевой кислоты, легко разлагающейся, поэтому используется только холодное хранение. В первый год усваивается до 50 % азота, 20 % фосфора и 70 % калия.

Торф – растительная масса разной степени разложения в анаэробных условиях. Общие его запасы составляют 4,5 млрд. тонн, причем 1,3 млн. т – эксплуатационные. Ранее ежегодно использовалось 12 млн. т, 1,3 млн. га было в сельскохозяйственном производстве. Во многих районах страны запасов торфа уже нет. Различают нормальнозольный торф (до 12 % золы) и высокозольный. Выделяется низкая степень разложения – до 20 % гумусовых веществ, средняя – 20–40 и высокая – более 40. По условиям образования торф бывает верховой, переходный и низинный. Вид торфа определяют растения-торфообразователи (сфагнум, пушица на верховых, гипновые мхи, осоковые, древесные на низинных и т.д.), формируя его свойства (табл. 10.1).

Таблица 10.1. Свойства основных видов торфов Беларуси

Торф	pH _{KCl}	ОВ	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
верховой	2,8–3,5	95–98	0,8–1,2	0,06–0,12	0,05–0,1	0,2–0,4
переходный	3,5–4,7	90–95	1,0–2,3	0,1–0,2	0,10–0,15	0,4–2,0
низинный	4,7–5,5	85–92	2,3–3,3	0,1–0,5	0,15–0,20	2–6

Торф богат азотом, но беден фосфором и особенно калием. Азот торфа – органический и малодоступный. Разложение торфа сильно активизирует жижа, навоз, фекалии, минеральные удобрения, поэтому эффективность при компостировании выше в 3–5 раз. Верховой используется только на подстилку скоту. Торфяной навоз ценнее, чем торфонавозный компост. В целом же применение торфа не только в чистом виде на удобрение, но даже на подстилку скоту – слишком большая роскошь с экологической точки зрения в настоящее время.

Компосты – органические удобрения, получаемые при разложении смеси навоза с торфом, землей, растительными остатками. Это – однородная темная масса не более 75 % влажности с нейтральной реакцией. Компостирование позволяет более полно использовать органические, промышленные и бытовые источники сырья, увеличивая выход удобрений. При приготовлении компостов в результате изотермических реакций гибнут патогенные микроорганизмы и теряют всхожесть семена сорных

растений, повышается концентрация питательных веществ. Компосты имеют хорошие физико-механические свойства, сыпучи. Компостирование хорошо идет лишь при положительных температурах и не идет зимой. Различают торфонавозные, торфожижевые, торфопометные (с опилками, лигнином – повышает гумус, улучшает поглонительную способность, структуру).

Вермикомпост (биогумус) – продукт переработки навоза и органических отходов червями (обычно калифорнийскими). Он содержит макро- и микроэлементы, гормоны, регулирующие рост растений (ауксин, гиббереллин), ферменты (фосфатазы, каталазы). За сутки червь потребляет количество органики, равное своему весу. Оптимальные условия развития – 15–20°C, pH 7–8, влажность 80–90 %. Количество червей за год увеличивается в 4–10 раз. На одном ложе (2*1м) 30–100 тысяч червей перерабатывает 1,0–1,2 т сырья. Продуцируемый продукт представляет собой сбалансированное гранулированное органическое удобрение, содержащее 30 % гумуса на а.с.в., 1–3 азота, 1–5 фосфора, 1,2 калия и 2–5 % кальция. На 1 га достаточно вносить 0,3–5,0 т биогумуса. Каждая тонна дает прибавку 6 ц/га кормовых единиц в первый год и еще 6 – в последующие. Рост урожая картофеля может составить до 40 %.

Сапропели – донные отложения пресноводных водоемов, органоминеральные, трудно сохнут, содержат 20–60 % золы. Общие запасы в Беларуси – 2,8 млрд. м³. наиболее известные места добычи – озера Судоль, Большое Святое, Червоное. В каждом третьем районе сапропели могут рассматриваться как качественный заменитель торфа. Добывают их земснарядами в отстойники, на второй год сушат, достигая рыхлого состояния при влажности 50 %. В сапропелях нет калия, а азота и фосфора втрое меньше, чем в навозе. Основные виды сапропелей – кремнеземистые, известковистые, смешанные. Вторые пригодны для известкования кислых почв. Сапропели лучше использовать на легких почвах (заделка через неделю после внесения) в дозе вдвое более высокой, чем навоза. Экономически оправдана перевозка на расстояние до 20 км.

Зеленое удобрение – свежая растительная масса, запахованная в почву для обогащения ее органическим веществом и азотом. Часто этот прием называют сидерацией, а растения – сидератами. Обычно – бобовые (люпин – основной сидерат, сераделла – как подсевная культура под зерновые, донник, вика озимая, эспарцет). Используются также горчица, рапс, гречиха, озимая рожь. В среднем запаховывается 40 т/га сидератов, которые разлагаются быстрее, чем органические удобрения. В среднем на 1 т сидератов содержится 5 кг N, 1 P₂O₅, 2 K₂O, 5 CaO. Сидераты дают мало фосфора и калия для полноценного питания, поэтому необходимо

внесение минеральных удобрений. Зеленое удобрение разлагается в почве быстрее, чем обычные органические удобрения. Оно улучшает агрохимические свойства почв, влагоемкость, водопроницаемость, структуру, активизирует деятельность микроорганизмов за счет увеличения поступления CO_2 . Растет ЕКО, степень насыщенности, снижается кислотность (на кислых почвах), повышается буферность. Зеленое удобрение особенно целесообразно на легких почвах и в местах дефицита навоза.

Различают самостоятельные и смешанные посевы сидератов. Практикуется полное, укосное (запахивается масса с другого участка) и отавное выращивание сидератов. Чем выше урожай сидератов, тем больше мелиорирующий эффект. Чем глубже заделаны сидераты, тем больше их влияние на образование гумуса и меньше – непосредственно на урожай.

Бактериальные удобрения – препараты, содержащие полезные для культурных растений микроорганизмы. При внесении в почву они усиливают фиксацию азота (нитрагин), минерализацию органического вещества и улучшают корневое питание растений. Они являются дополнительным источником питания растений к другим удобрениям. Вносят бактериальные удобрения опылением семян (инокуляция) или в почву в виде раствора. Ризоторфин – один из наиболее популярных бактериальных удобрений – представляет собой культуру ризобий на основе торфа. В 1 г ризоторфина содержится 2,5 млрд. клубеньковых бактерий. Расход составляет 250 г/га при опудривании семян бобовых. Обработка семян происходит с применением прилипающих веществ типа латекса или КМЦ. Этот прием позволяет получить дополнительно 1,5–3,0 ц/га зерна зернобобовых культур, 2–5 ц/га сена клевера, 5–12 ц/га люцерны. Препарат АМБ усиливает азотное питание растений. В Беларуси применяются также азотобактерин, флавобактерин, мизорин, бацифор, экзофор, ризофил и другие.

11. СИСТЕМА ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПОД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ

Определение потребности растений в питательных элементах производится через расчет выноса питательных элементов урожаем. Вынос рассчитывается на единицу урожая основной продукции с учетом побочной (солома, ботва и т.п.). Общий биологический вынос (потребляемое растениями количество элементов) существенно выше хозяйственного выноса, то есть того количества элементов питания, которое удаляется с поля с товарной частью урожая.

Большинство культурных растений выносит больше азота и калия, чем фосфора. Соотношение N: P₂O₅: K₂O составляет для зерновых культур примерно 1: 0,4: 1, для корнеплодов 1: 0,32: 1,5, для многолетних злаковых трав 1: 0,3: 1,6. Реальный вынос может существенно отличаться от расчетного в зависимости от почвенных условий, внешней среды, уровня удобрений и т.п.

Часть питательных элементов растения берут из почвенных запасов, поэтому учет содержания элементов в почве является неотъемлемой частью построения правильной системы установления доз удобрений. Коэффициент использования элементов питания из почвы зависит от биологических особенностей культуры, плодородия, уровня агротехники, погодных условий и т.п. В среднем из почвы растения потребляют 5–7 % фосфора (лен – 3 %) и 10–20 % калия (лен – 6 %). На торфяных почвах уровень использования почвенных запасов в 2–3 раза выше.

Степень усвоения элемента питания из удобрения оценивается через коэффициент использования питательного элемента из удобрений, рассчитываемый по данным полевых опытов с удобрениями. Более точным является изотопный метод, но его использование затруднительно.

Коэффициенты использования питательных элементов из удобрений также зависят от многих факторов. Так, они снижаются на кислой или переизвесткованной почве по сравнению с оптимизированной по кислотности. Ниже коэффициенты при сплошном внесении по сравнению с локальным.

Действие удобрений на урожай зависит от уровня потенциального плодородия почв и влагообеспеченности. Эффективность снижается при недостатке влаги и высокой обеспеченности почв. Необходимо учитывать также гранулометрический состав почв, реакцию, буферность, сортовые особенности, видовые народохозяйственные приоритеты, порядок чередования культур, биологические особенности и удобрение культуры-предшественника.

Методы расчета доз удобрений бывают *балансовые* – на основе данных выноса урожаем и коэффициентов возмещения; *по результатам полевых опытов*; *нормативные* – по нормативам затрат на единицу урожая или прибавки урожая; *математические* – на основе производственных функций.

В настоящее время дозы обычно рассчитываются на достижение планируемого урожая культур. Альтернативой является расчет доз удобрений для проведения комплексного агрохимического окультуривания полей, то есть химической солеобогатительной мелиорации.

Расчет доз минеральных удобрений обычно идет по следующему алгоритму: определение общего выноса питательного элемента планируемым урожаем с учетом коэффициента возмещения; вычитание количества питательного элемента, оставшегося неизрасходованным предшественником и содержащегося в планируемой дозе органических удобрений; внесение поправки на кислотность почв по фосфору и калию.

Для более точного определения доз удобрений, особенно в подкормку, применяется **диагностика**. Диагностика помогает рационально использовать удобрения, особенно при интенсивных технологиях, где очень важна точная дозировка. Практикуется почвенная, метеорологическая и растительная (листовая и тканевая) диагностика. Почвенно-растительная диагностика азотного питания зерновых культур наиболее разработана и применяется (препарат ИНДАМ и анализ почвы на запасы усвояемого азота), особенно на посевах озимых зерновых культур.

12. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Средства химизации повышают урожай и плодородие только при правильном изготовлении, транспортировке, хранении, внесении в нужных количествах и заданных сочетаниях. Неравномерное внесение, неоправданно высокие дозы снижают урожай, ухудшают состояние окружающей среды. Самые острые проблемы – применение минеральных удобрений и функционирование крупных животноводческих комплексов.

Существенный недостаток **транспортировки** средств химизации – перевалочная система, когда на пути от завода до поля большая их часть перегружается дважды: на прирельсовом складе объединения «Сельхозхимия» и в хозяйстве. Несовершенство системы транспортировки приводит к тому, что 8 % всех удобрений теряется в пути и при хранении. Складские емкости часто не соответствуют объемам и ассортименту удобрений. Хранение под навесами, а тем более под открытым небом существенно увеличивает потери, в среднем с 2–5 до 10–20 %, усиливая загрязнение окружающей среды.

Наиболее совершенной с экологической точки зрения является прямоточная система применения средств химизации. Применительно к твердым минеральным удобрениям она невозможна, ее активно применяют только при транспортировке и внесении доломитовой муки – главного известкового мелиоранта. В этом случае уже на заводе пылевидная мука загружается пневматически в железнодорожную цистерну, перекачивается в прирельсовый склад силосного типа, из которого также пневматически перекачивается в автомобильный разбрасыватель АРУП-8 или

АРУП-10, которым возможно и непосредственно вносить в почву, но обычно снова перекачивают для внесения уже в тракторный разбрасыватель РУП-8 (РУП-10).

Серьезное внимание необходимо и к процессу внесения удобрений в почву. Неравномерность внесения снижает величину прибавки урожая от средств химизации и увеличивает потери от улетучивания и вымывания. В целом в условиях Беларуси увеличение неравномерности внесения извести на 1 % сверх нормативных 25 %, например, снижает величину прибавки урожая также на 1 %. То есть при общей неравномерности 60 % примерно на треть увеличиваются непроизводительные потери средств химизации.

Второй возможный путь потерь удобрений и других средств химизации – *нарушение научных основ агрономической технологии* применения средств химизации и неправильное возделывание отдельных культур, стимулирующее эрозию почв. При разработке научных основ системы применения средств химизации нет вопросов главных и второстепенных, нарушение любого звена всей технологии приведет к значительным непроизводительным затратам и загрязнению окружающей среды.

Решающее условие эффективной системы удобрений – выбор оптимальных доз и соотношений удобрений, сроков и способов их внесения. Первостепенное значение имеет проблема азота. В полевых условиях он усваивается на 40–80 %, 10–30 % могут составлять газообразные потери и почти столько же – потери от вымывания. Часть азота прочно фиксируется почвой. Главным путем снижения поступления азота в природные воды и воздух является соблюдение доз внесения. Считается, что при использовании доз азота до 120 кг/га действующего вещества потери от вымывания сводятся к минимуму. Такая доза обычно достаточна для получения высоких урожаев большинства культур. Потери нитратов можно регулировать сроками и способами внесения удобрений, используя подкормки, оптимальные формы удобрений (аммиачная селитра из твердых удобрений или КАС). Загрязнение природных вод минеральным азотом не является неизбежным следствием химизации, а обусловлено неверным ее проведением. Особенно распространенной ошибкой является допущение, что высокими дозами удобрений можно компенсировать нарушения агрономического плана. Уровень урожая все равно будет лимитировать совершенное упущение, а потери увеличатся.

Потери фосфора и калия в газообразном виде отсутствуют, в результате вымывания теряется менее 1 кг/га фосфора и 5–10 кг/га (до 25 на легких почвах) калия (табл. 12.1), что не меняет существенно качество

вод, поэтому эти элементы сравнительно мало опасны в экологическом аспекте.

Таблица 12.1. Потери элементов питания с инфильтрационными водами на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, кг/га, среднее за 1991–1997 гг.

Вариант опыта	Ca	Mg	N _{NO3}	Cl	K ₂ O	S _{SO4}
Контроль	46	8,0	9,2	34	1,4	18,8
НРК	86	13,6	10,6	126	2,1	17,6
НРК + 24 т/га навоза	104	16,8	8,7	158	3,0	14,0
6,5 т/га СаСО ₃	60	10,2	11,1	75	1,2	28,8
6,5 т/га СаСО ₃ + НРК	113	18,8	13,4	100	2,6	24,8
То же + 24 т/га навоза	115	19,2	10,7	187	3,1	17,2
12,4 т/га СаСО ₃	72	11,2	14,5	76	1,3	32,4
12,4 т/га СаСО ₃ + НРК	115	18,4	13,1	142	2,3	17,6
То же + 24 т/га навоза	150	22,2	17,6	206	2,9	20,8

* вымывание фосфора в любом варианте менее 1 кг/га

Большое внимание следует уделять и технологии использования органических удобрений, особенно бесподстилочного навоза. Современной агрохимической наукой разработаны ограничения на дозы органических удобрений, при соблюдении которых риск негативных экологических последствий минимален. Предельно допустимые дозы бесподстилочного навоза (рассчитанные по азоту) для легких песчаных почв составляют: для картофеля – 200 кг/га (80 т/га жидкого навоза КРС или 50 т/га свиного навоза), сахарной и кормовой свеклы – 250 кг/га, озимых зерновых культур – 100 кг/га, многолетних трав, сенокосов и пастбищ – 200 кг/га. На тяжелых почвах возможно увеличение, а на торфяных – снижение дозы на 25 %.

Для использования бесподстилочного навоза без загрязнения грунтовых вод необходимо соблюдать следующие условия: – поголовье скота должно соответствовать имеющейся площади сельскохозяйственных угодий; – емкости хранилищ бесподстилочного навоза должно хватать на 6 месяцев, чтобы избежать неблагоприятных сроков или избыточных доз внесения; – азот жидкого навоза должен непосредственно использоваться растениями, то есть внесение осуществляется под предпосевную культивацию или в подкормку; – жидкий навоз в конце лета и осенью необходимо комбинировать с соломой или сидератами, применять ингибиторы нитрификации; – не вносить бесподстилочный навоз на участках с значительными уклонами.

Важное место в загрязнении природных вод занимает кальций. Его потери из почвы в результате вымывания весьма велики. Они особенно

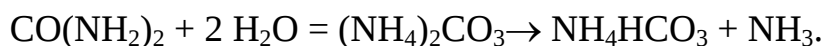
усиливаются в случае применения известковых мелиорантов или высоких доз минеральных удобрений. В Латвии, например, потери кальция возрастали с 172 на контроле до 372 кг/га при применении N135P90K135 совместно с стандартной (по 1 Нг) дозой извести (Штиканс Ю.А., 1977). По нашим данным (табл. 8.1), количество вымываемого кальция утраивается при совместном применении извести и высоких доз органических и минеральных удобрений, достигая на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве 150 кг/га.

Важным биогенным элементом является и магний, которого вымывается в 5–7 раз меньше, чем кальция, обычно в пределах 10–20 кг/га. Основной проблемой в практике земледелия является обеспечение бездефицитного баланса щелочноземельных элементов, так как непосредственного вреда от кальция и магния обычно нет.

Серьезным источником загрязнения может быть сера, вымывание которой в виде сульфатов в грунтовые воды может достигать 300 кг/га (Минеев В.Г., 1988), значительно превышая потери азота. В почвах Беларуси вымывание серы обычно не превышает 40 кг/га, причем особенно существенно оно может возрасти при высоких дозах известковых мелиорантов (табл. 12.1).

В принципе, миграцию любого элемента можно рассматривать как разницу между количеством, вошедшим в систему «почва-растение» и вышедшим из нее, поэтому максимальное сохранение элемента в этой системе является рациональным как с точки зрения экологии, так и с точки зрения оптимального обеспечения растений элементами питания. В отдельных странах, например, в Германии, установление допустимых доз минеральных удобрений контролируется законодательными органами. В целом дозы должны контролироваться уровнем планируемого урожая, а сроки и способы внесения – конкретными технологиями возделывания определенной культуры.

С точки зрения *форм минеральных удобрений* фосфорные – равноценны в экологическом плане, калийные – отличаются, но резкое доминирование лишь одной формы (хлористый калий) делает несущественным обсуждение данной проблемы применительно к Беларуси. Наиболее важное значение имеют формы азотных удобрений. При использовании аммиачной селитры почти нет газообразных потерь, но заметно усиливаются потери от вымывания. Использование карбамида минимизирует потери от вымывания благодаря быстрому его гидролизу, но может улетучиваться до 30 % азота. Происходит это вследствие быстрой аммонификации карбамида под действием фермента уреазы с последующим разложением до аммиака:



При благоприятных условиях процесс превращения мочевины в аммоний происходит в течение 2–3 дней, поэтому при внесении карбамида оперативная заделка удобрений очень важна, так как потери происходят только при поверхностном внесении, то есть эта форма азотных удобрений неблагоприятна для проведения подкормок. Большое значение в этом процессе имеет влажность почвы и температура воздуха. Если последняя менее 7°C, то процесс практически не идет, а при 20°C потери возрастают в 7,2 раз. При низкой влажности потери также существенно возрастают.

Перспективными являются жидкие формы типа КАСа, использование которых позволяет минимизировать потери за счет равномерности внесения. Жидкий и безводный аммиак также неблагоприятны с экологической точки зрения. Их обязательно нужно оперативно заделывать в почву на глубину 10–15 см, как и жидкий навоз.

В целом негативным свойством любых азотных удобрений является высокая подвижность, особенно нитратных форм, не адсорбируемых почвенным поглощающим комплексом, поэтому нитрат-ион отличается высокой миграционной способностью. На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве потери нитратного азота достигали 18 кг/га (табл. 12.1), а аммиачного азота в отдельные годы вообще отсутствовали.

Снижение подвижности нитратного азота возможно путем внесения специальных ингибиторов нитрификации, то есть веществ, замедляющих процесс нитрификации, повышающих коэффициент использования удобрений и снижающих потери.

Улучшение свойств удобрений возможно также путем капсулирования – приготовления медленно действующих форм. Такие удобрения позволяют уменьшить кратность внесения удобрений, снизить потери азота, предотвратить загрязнение окружающей среды нитритами и нитратами. Проведенные в последние годы в республике исследования (Пироговская Г.В., 2001) показали, что введение в состав стандартных удобрений комплексных модифицирующих добавок позволяет получать медленнодействующие удобрения с разной скоростью растворения. Снижение скорости растворения составляет до 1,3–2,0 раз по азоту и 1,2–1,5 раз по калию. По сравнению со стандартными эти удобрения повышают продуктивность в среднем на 7 % на легкосуглинистых почвах, на 16 % – на песчаных, а окупаемость удобрений возрастает на 4 кормовые единицы, потери азота от вымывания снижаются на 21–32 % на легкосуглинистых и на 27–47 % на песчаных почвах.

К несовершенству химических свойств удобрений можно отнести наличие сопутствующих (балластных) элементов типа хлора, натрия,

фтора и т.п. Особенно много балласта в фосфорных удобрениях, которые могут содержать даже редкоземельные и радиоактивные элементы. С 1 т фосфорных удобрений из апатитов Кольского полуострова в почву поступает около 160 кг фтора. Широкое загрязнение фтором может привести к повышению заболеваемости флюорозом и другими болезнями. Особенно опасно загрязнение фтором почв с высоким содержанием органического вещества, где хорошие возможности для фиксации этого элемента. Много в фосфорных удобрениях свинца и кадмия – до 100 мг/кг, что пока не является серьезным для экологии, но может иметь значение в перспективе. Тяжелые металлы могут попадать в почву и с органическими удобрениями, особенно с осадками сточных вод (ОСВ), где может быть до 20 г/кг свинца.

Серьезную экологическую проблему составляет и наличие значительного количества отходов при производстве минеральных удобрений, особенно фосфорных и калийных. Отвалы из отходов химического завода в Гомеле и калийных комбинатов в Солигорске занимают значительную площадь и оказывают негативное влияние на грунтовые и поверхностные воды, состав атмосферного воздуха. В Солигорском промышленном районе отдельные участки полей просели на 3–4 м, наблюдается вторичное заболачивание, засоление вод и почв хлоридами, повышение подвижности почвенного гумуса, появление избыточных количеств натрия и калия в обменном комплексе почв. В этой связи необходим переход на без- и малоотходные технологии производства минеральных удобрений. Серьезный ущерб окружающей среде может быть нанесен и атмосферными выбросами того же ПО «Беларуськалий», например. Растения, на которых осаждаются пылегазовыбросы, отличаются повышенным содержанием иона хлора, натрия, калия. Часто фиксировалось снижение урожая на 30–50 %, а иногда даже полная гибель растений.

Одним из наиболее опасных в мире отрицательных воздействий атмосферных осадков на почву считается выпадение кислых дождей. От кислых дождей в Германии погибло 1500 га леса, в Канаде стали мертвыми более 4000 озер, в Швеции в 18000 озер нарушено биологическое равновесие, в южной Германии и Швейцарии погибла треть всех елей. Оценка степени их воздействия на природную среду, в том числе на почву, является важной задачей современной науки. Особенно велико влияние кислых дождей на природу Востока Северной Америки и Северную Европу, где почти все природные поверхностные воды с pH менее 6,0 обязаны своей кислотностью осадкам.

Ученые ряда стран считают компенсирующее известкование важным приемом для лесов и вод суши в борьбе с подкислением кислыми осад-

ками, например, в Германии (Brahmer G. и.а., 1994). В Швеции (Израэль Ю.А., 1984), а также Норвегии и Канаде (Заиков Г.Е. и др., 1991) широко известкуют озера с целью сохранения оптимального для пресных вод pH – 6,5–8,5, причем в Скандинавии эти работы начаты еще в 1920 году.

В Беларуси анализ данных снегового покрова и среднемесячных осадков по основным метеостанциям показывает, что за 15 последних лет величина pH талых вод не опускалась ниже 4. Наименьшие значения pH зафиксированы в удаленных от промышленных центров точках (Березинский заповедник, Березино) и в Гомеле (следствие наличия крупного химического завода). В целом по эталонной метеостанции Березинского заповедника среднегодовой pH колебался в течение 18 лет наблюдений в сравнительно небольших пределах – от 4,7–4,8 (1985, 1987, 1991) до 5,6 в 1995 году, обычно составляя 5,0, что свидетельствует о кислом характере незагрязненных атмосферных осадков на территории Беларуси, но абсолютное значение показателя pH не дает оснований говорить о значительности кислотного воздействия. По большинству точек измерений pH был существенно выше фоновых значений (5,6), то есть на большей части республики осадки оказывают слабый подщелачивающий эффект.

Таблица 12.2. Средняя кислотность и среднее содержание основных ионов в среднемесячных атмосферных осадках, мг/л (1992–1998 гг.)

Пункт	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	pH
Березино	6,8	3,0	3,0	2,9	1,1	0,7	2,0	2,7	0,4	5,3
Березинский заповедник	2,8	0,8	1,2	2,6	1,0	0,2	0,3	0,8	0,1	5,1
Бобруйск	6,3	9,4	2,3	3,3	1,5	1,9	1,3	3,3	0,4	6,1
Брест	6,8	3,7	2,7	3,1	1,3	0,6	0,9	3,5	0,3	6,0
Витебск	19,5	16,6	2,9	3,2	1,2	1,1	1,4	4,7	4,0	4,9
Гомель	6,6	0,8	3,5	4,7	1,3	0,6	2,0	2,5	0,3	4,9
Минск	4,2	5,4	1,8	2,9	1,3	0,4	0,5	2,6	0,4	6,1
Могилев	5,5	9,5	2,7	2,1	1,4	1,5	1,6	2,8	0,6	6,3
Мозырь	6,1	4,1	2,9	3,4	0,9	1,1	1,7	3,1	0,5	5,7
Нарочь	4,7	3,3	2,2	3,8	1,1	0,7	0,7	2,4	0,5	5,3
Орша	6,9	8,5	2,3	3,1	2,2	0,9	1,1	3,6	0,9	6,5
Пинск	8,0	11,2	2,5	3,8	2,4	0,9	1,8	4,5	0,3	6,1
Полоцк	7,3	12,9	3,7	3,4	0,7	0,8	2,3	6,2	0,8	6,4
Пружаны	4,7	5,3	2,0	3,4	1,5	1,0	0,8	2,5	0,3	6,1
Беларусь	6,9	6,7	2,5	3,3	1,3	0,9	1,3	3,2	0,7	5,77

Кислая реакция атмосферных осадков обусловлена высокой концентрацией анионов, обычно высоким содержанием сульфат-иона, реже

нитрат-иона, иногда иона хлора, поэтому мониторингу содержания и снижению их поступления в почву придается большое значение. Мировые выбросы диоксида серы долгое время составляли около 150 млн. тонн, но с 1980 года за 10 лет удалось сократить выбросы SO_2 в Европе на треть (Freemantle M., 1995).

В условиях Беларуси хлора поступает с осадками втрое меньше, чем сульфатов – 39 кг/га по данным анализа снегового покрова и 20 кг/га по данным среднемесячных осадков, что не представляет особой экологической угрозы. Среднее поступление натрия на территории Беларуси с осадками, как и калия, составляет 12 кг/га.

Все почвы обладают способностью поддерживать на более или менее постоянном уровне различные химические свойства и сопротивляться изменениям под воздействием химических реагентов. Частным случаем этого явления является кислотно-основная буферность почв – одно из основных интегральных свойств почвы, то есть способность жидкой и твердой фаз почвы противостоять изменению реакции среды при взаимодействии с кислотой или щелочью. Буферность является основой мониторинга и охраны почв.

Кислота является субстанцией – донором протона. Сила кислотно-основной системы определяется константой диссоциации H^+ . Чем сильнее кислота, тем выше константа диссоциации. Почва является смесью кислотно-основных систем. При низкой константе диссоциации почва имеет низкий энергетический уровень и высокое сродство к ассоциации с протоном. При добавлении протонов в систему они оккупируют низший энергетический уровень. Например, при добавлении протонов в карбонатную систему они тратятся на растворение CaCO_3 и pH не меняется. Когда исчерпываются запасы CaCO_3 , pH падает, пока не начинается взаимодействие со следующим энергетическим уровнем, например, с обменными позициями глинистых минералов. Необходимо различать факторы интенсивности и емкости, первая не зависит от размеров системы, вторая зависит от размеров системы и от количества кислоты.

С помощью химической мелиорации можно создать устойчивый механизм кислотно-основной регенерации почв. Суммарный показатель – буферность, основной фактор устойчивости к деградации. Буферность – важнейший показатель для оценки устойчивости почв к воздействию кислотных атмосферных осадков и физиологически кислых удобрений. Буферность почв обычно зависит от гранулометрического состава, содержания гумуса и карбонатов, насыщенности основаниями.

По нашим данным, в минеральных почвах Беларуси наиболее буферными (индекс буферности более 2 смоль(+)/кг*единица pH) являются па-

хотные горизонты глинистых почв и иллювиальные суглинистые и глинистые горизонты. Минимальная буферность (менее 1,5) отмечается в слабнокислых песчаных почвах. Сравнительно высокой буферностью к подкислению обладают высокогумусные полугидроморфные почвы, даже при супесчаном гранулометрическом составе индекс буферности составлял 1,6–2,2 смоль(+)/кг*единица рН, что даже несколько выше, чем в слабнокислых автоморфных почвах суглинистого гранулометрического состава.

Очень буферными являются торфяные почвы Беларуси – 7–10 смоль(+)/кг*единица рН, что объясняет сравнительно меньшие изменения кислотности этих почв в динамике по сравнению с минеральными. Сравнительно меньшее значение в условиях Беларуси имеет устойчивость к щелочным воздействиям, избыток которых выражается в превышении оптимума для биоты, нарушении сбалансированности между катионами в растворе, ухудшении агрофизических свойств (Фрид А.С., Гребенщиков А.М., 1999). По нашим данным, буферность почв Беларуси к подщелачиванию немногим выше, чем к подкислению. Она изменяется от 1 и менее на кислых до 2–3 смоль(+)/кг*единица рН при исходном рН_{сол} 5,5–6,0.

Важнейшим условием экологичности земледелия является освоение правильных севооборотов. Должна соблюдаться доля пропашных культур (обычно не более 25 %), многолетних трав (не менее 25 %). Почва должна быть как можно меньше по времени занята растительностью. Травы способствуют минимальному вымыванию большинства элементов, особенно азота, овощи – максимальному.

При разработке систем удобрения обязателен учет гранулометрического состава почв. Количество вымываемых элементов на легких почвах может в 2–3 и более раз превышать вымывание на тяжелых почвах. Весьма различна и буферность почв к изменению среды или к загрязнению тяжелыми металлами.

Применение средств химизации на торфяно-болотных почвах имеет свои особенности. Один из традиционных недостатков их использования – возделывание пропашных культур. В результате частой междурядной обработки происходит интенсивная минерализация торфа и снижение высокого потенциального плодородия таких почв. Значительная часть азота и зольных элементов теряется нерационально, поэтому такие почвы должны использоваться под культуры сплошного сева или под многолетние травы.

Для сохранения и воспроизводства природных ресурсов в современном земледелии наиболее актуальной проблемой является охрана и правиль-

ное использование почв, повышение их плодородия и борьба с потерями питательных элементов почвы и удобрений. Одной из главнейших проблем здесь является **эрозия** почв. В условиях Беларуси развита эрозия почв как водная (плоскостная и линейная), так и ветровая. Половина сельскохозяйственных угодий Беларуси расположена на склонах, а общее количество эродированных сельскохозяйственных земель в Беларуси составляет 550 тысяч гектаров. В результате эрозии обычно теряется наиболее ценная мелкодисперсная фаза почв, богатая гумусом и питательными веществами. Процессы эрозии начинают развиваться уже при уклоне 0,5°, причем на пологом склоне сильнее смываются глинистые частицы, а на крутых – песчаные.

Самым важным и необходимым средством борьбы с эрозией почв является переход на контурно-мелиоративную организацию территории. Суть его состоит в организации традиционных севооборотов на автономных позициях рельефа и почвозащитных севооборотах на склонах с уклоном более 2°.

Развитые страны накопили значительный положительный опыт борьбы с эрозией. В США для каждого округа разработана дифференцированная система почвозащитного земледелия, контроль за соблюдением которой возложен на специальную службу – Soil Conservation Service. Установлены лимиты на потери почвы при водной эрозии 2–12 т/га. Особенно возрастают потери почвы при отсутствии растительности и за время одного ливневого дождя они могут достигнуть 15–20 т/га.

На стоковой площадке Белорусского НИИ почвоведения и агрохимии за один ливень смыло 1,5 т/га почвы, что сравнимо с общей потерей за период снеготаяния – 1,9 т/га. Потеря плодородного слоя снижает продуктивность почв в условиях Беларуси на 2–3 ц/га.

В США 28 млн. га подвержено дефляции. В Беларуси также площади дефляционно-опасных почв достаточно велики – примерно 8 % пашни подвержено ветровой эрозии. Особенно развиты эти процессы на Полесье как на песчаных почвах, так и на осушенных торфяниках. Средний недобор урожая в Беларуси на таких почвах составляет 5 ц/га зерна.

В целом в земледелии практикуются следующие основные приемы борьбы с эрозией почвы и потерями питательных веществ из почвы: – система противоэрозионной обработки (безотвальная, плоскорезная, минимальная, чизелевание, контурная и т.п.); – внедрение террасного, полосного земледелия и противоэрозионных севооборотов; – максимальное содержание эрозионно-опасных земель под растительностью (пожнивные, уплотненные посевы); – залужение многолетними травами как наиболее радикальное средство; – правильный выбор доз, сроков, форм, способов

внесения удобрений; – применение полимеров-структурообразователей; мероприятия по борьбе с оврагами.

На территории Беларуси в советский период был взят курс на строительство *крупных животноводческих ферм*. Это имело ряд преимуществ, в первую очередь позволяло снизить затраты на производство молока и мяса. Но вместе с тем возросла опасность загрязнения окружающей среды отходами животноводства. Это связано с наличием на большинстве комплексов бесподстилочной системы содержания большого количества животных. На этих комплексах образуется большое количество органического вещества, содержащего много азота, сероводород, патогенные микроорганизмы и т.п. Наиболее рационально использовать эти отходы в качестве органического удобрения, но следует помнить о необходимости постоянного агрохимического контроля над всей зоной использования жидкого навоза данного комплекса, так как содержание нитратного азота в таких зонах может быть в 10–15 раз выше фонового, может иметь место локальный избыток даже подвижных фосфора и калия.

Основное правило – недопущение внесения жидкого навоза в дозах, превышающих экологически допустимые уровни. Необходимо постоянно следить за химическим составом навоза, корректируя дозы в соответствии с конкретными анализами той или иной партии. Следует избегать внесения жидкого навоза в зимний период из-за значительных производительных потерь и предотвращения загрязнения природных вод в случае интенсивного снеготаяния. Основным потребителем этого навоза должны быть многолетние травы, хотя доля их в структуре посевных площадей не должна превышать 60 %.

Особую опасность представляют крупные животноводческие комплексы для торфяно-болотных почв из-за высокого уровня стояния в них грунтовых вод, то есть повышенной угрозы загрязнения. Поверхностные и грунтовые воды районов комплексов обычно существенно сильнее заражены яйцами гельминтов, имеют более высокую микробную обсемененность.

Негативное влияние животноводческих комплексов может происходить и через атмосферу, неприятные запахи могут распространяться на 3–4 и более км, примерно на таком же расстоянии уровень загрязнения воздуха по сероводороду, микробной обсемененности входит в допустимые параметры.

Все вышеотмеченное свидетельствует о необходимости реализации комплекса мер по охране окружающей среды: соблюдение санитарных разрывов между поливаемыми площадями и жилой зоной и поверхностными водоемами; ограждение и обваловывание участков; соблюдение

норм полива; посев кормовых трав. В отдельных случаях целесообразна полная очистка и утилизация стоков на очистных сооружениях, метановое (анаэробное) сбраживание жидких животноводческих стоков, радиационная обработка стоков.

Основные последствия из-за *загрязнения природной среды в результате производства и применения средств химизации* сводятся к следующим положениям:

- попадание питательных элементов удобрений и почвы в грунтовые воды может привести к усилению эвтрофикации водоемов;
- потери азота в атмосферу отрицательно сказываются на деятельности сельскохозяйственных и иных предприятий, ухудшая микроклимат и, по некоторым данным, даже способствуя разрушению озонового экрана нашей планеты;
- неправильное применение средств химизации может ухудшить баланс питательных элементов, плодородие почв;
- нарушение оптимальности питания культурных растений ухудшает качество растениеводческой продукции, повышает заболеваемость растений, ухудшает фитосанитарное состояние посевов;
- нарушение научно-обоснованных технологий использования средств химизации снижает продуктивность сельскохозяйственных земель.

Загрязнение природных вод удобрениями усиливает эвтрофикацию – усиленное развитие водорослей и планктона. Особенно активными в этом плане являются азот и фосфор, поступающие в водоемы в результате поверхностного и подземного стока. Известно, например, что цветение водоема за счет водорослей бывает только тогда, когда содержание фосфора превышает 0,01 мг/л. При этом ухудшаются окислительно-восстановительные процессы в водоемах и возникает дефицит кислорода. Такой водоем может утратить свое хозяйственное и биологическое значение. Природные водоемы обычно хорошо сбалансированы и именно антропогенное привнесение отдельных элементов существенно меняет функционирование сообщества, создает неустойчивость экосистемы. Экологические проблемы, связанные с избыточным поступлением фосфора, возникают сравнительно редко, локально, гораздо чаще встречается загрязнение нитратным азотом.

С точки зрения здоровья людей особенно важно, чтобы содержание нитратов и токсических веществ не превышало предельно-допустимых концентраций (ПДК). ПДК нитратов в картофеле 150, капусте, кабачках, лук-перо – 400, лук-репка 80, зеленные 1500, морковь 200, свекла 1400, воды и молока 45 мг/кг. Накопление нитратов усиливается при малой

освещенности, недостатке микроэлементов, поражении вредителями и болезнями, переувлажнении почвы и засухе, в закрытом грунте.

ПДК нитратов для вод лесной зоны умеренного пояса составляет 22 мг/л. В нашей республике превышение ПДК природных вод по нитратов – явление достаточно частое и одной из причин является неправильное использование средств химизации, особенно неумеренное использование жидкого и полужидкого навоза.

Для предотвращения эвтрофикации водоемов необходимо: – строгое выполнение научно-обоснованных рекомендаций; – выполнение агрономических правил и санитарно-гигиенических норм при накоплении, хранении, внесении органических удобрений, особенно жидкого навоза, и рациональное их сочетание с минеральными удобрениями; – уплотненный посев сельскохозяйственных культур в севообороте, широкое использование промежуточных культур; – выполнение комплекса мероприятий по предотвращению водной и ветровой эрозии почв (дифференцированная обработка почвы, запрещение вспашки вдоль склона, залужение и т.п.); – посадка полезащитных, приовражных, прирусловых лесных насаждений.

Попадание азота в атмосферу в виде молекулярного азота, аммиака, оксида и двуоксида азота загрязняют воздух. Опыты с меченым азотом показали, что средние потери азота за счет денитрификации составляют 24 % азотных удобрений, а по мочеvine иногда могут достигать 50 %.

Оксид азота при денитрификации азотных удобрений потенциально может разрушать озоновый слой (не доказано) – защиту от ультрафиолета. Для предотвращения отрицательных последствий важна в первую очередь оптимизация доз азотных удобрений. Необходимо четко придерживаться экологических ограничений по нормам азота

Средства химизации при неумеренном использовании могут и **ухудшать свойства почв**. Удобрения и мелиоранты могут оказывать на почву следующие воздействия: вызывать изменение реакции среды; изменять агрохимические и физические свойства почв; способствовать обмену или химическому поглощению катионов (реже анионов); способствовать или препятствовать гумусообразованию; усиливать или ослаблять действие других химических элементов как почвы, так и удобрений, вызывая синергизм или антагонизм питательных элементов.

Классический пример – неумеренное использование физиологически кислых удобрений, приводящее к увеличению потерь кальция и магния и подкислению почвенной среды. Важнейшим средством предотвращения данного явления является не только соблюдение научно-обоснованных норм, но и проведение регулярного известкования для поддержания оп-

тимальной реакции. Известкование, являясь важным экологичным агротехническим приемом (снижает поступление радионуклидов и тяжелых металлов в растения) при внесении извести в рекомендованных дозах, может приводить и к негативным последствиям при неумеренном использовании извести, так называемом переизвестковании. Переизвесткование может существенно снизить подвижность многих необходимых элементов, особенно марганца, бора, цинка. Обычно о возможном переизвестковании почв судят по отсутствию реакции растений на дополнительную известь либо по значимым нарушениям в питательном режиме почв. На большинстве почв, по мнению В.Г. Минеева (1988), уровень переизвесткованных почв начинается с рН около 6,2, на торфяных почвах – с рН 5,5.

Широко известным является также факт частого возникновения цинковой недостаточности при неумеренном использовании фосфорных удобрений. Внесение никеля или повышение его концентрации в растворе до 1 мкг/л способствовало повышению поступления фосфора в растения кукурузы (Минеев В.Г., 1988), а увеличение концентрации никеля до 10 мкг/л снижало содержание фосфора до уровня ниже контрольного.

Избыточное накопление многих элементов в почве может привести к негативным последствиям, особенно это касается тяжелых металлов. Разработка приемов снижения поступления тяжелых металлов в растения при значительном их количестве в почве является одной из важнейших задач в химической мелиорации. Наиболее дешевым и популярным и здесь является внесение известковых мелиорантов. С повышением рН резко снижается поступление свинца в растения, так как значительно увеличивается его сорбция почвой. Это, в частности, объясняет факт отсутствия значительных количеств подвижного свинца в аридной зоне.

Постоянную тревогу у земледельцев вызывает недобор урожая от повреждения посевов различными болезнями и вредителями. Он составляет не менее 10 %, а в отдельных случаях возможна и полная гибель посевов. На практике как правило для борьбы с этим явлением используют комплекс агротехнических, биологических и химических средств защиты растений. Экологическая опасность тут может состоять в чрезмерном увлечении химическими средствами защиты растений. Наиболее прогрессивным является использование химических средств лишь в качестве вынужденной меры, а реализовываться должна интегрированная система защиты растений, заключающаяся прежде всего в сочетании севооборотов с механическими приемами, а также правильном подборе сортов.

Фитосанитарное состояние посевов при правильном использовании почвоулучшающих химических мелиорантов не ухудшается, истин-

ный экологический, как и экономический правильный подход состоит в оптимизации, а не минимализации применения средств химизации. Именно недостаток тех или иных элементов питания обычно приносит вред растениям.

Отдельные виды удобрений способны активизировать те или иные группы микроорганизмов. Так, считается, что азот способствует росту грибных заболеваний. Но это имеет место только при неправильном их применении, например, при высоких дозах азота с осени под яровые культуры, а при сбалансированном питании растений количество токсичной грибной микрофлоры уменьшается.

Калийные удобрения сдерживают развитие грибных болезней, повышая прочность механических тканей. Положительно действуют и фосфорные удобрения, способствуя развитию корневой системы. Известкование обычно не влияет на фитосанитарное состояние. Действие извести обычно косвенное, так как изменение реакции среды способствует изменению структуры микробиоты почвы в сторону роста количества актиномицетов и бактерий при снижении доли грибов. Это может привести и к негативным последствиям, например, на посевах картофеля активизируется заболевание парша, возбудителем которого являются отдельные группы актиномицетов. В целом же влияние средств химизации на фитосанитарное состояние посевов изучено пока недостаточно.

К счастью, негативные последствия применения средств химизации не являются повсеместным явлением. Использование агрохимических средств позволяет в первую очередь **решать многие экологические проблемы химико-мелиоративными методами.**

Обеспечение возрастающего народонаселения продовольствием будет в будущем все в большей и большей степени осуществляться за счет применения средств химизации. Это делает все более актуальной проблему разработки путей наиболее эффективного и экологичного земледелия.

В целом теоретические основы химизации земледелия разработаны достаточно хорошо, лимитирующим моментом здесь является скорее недостаток материально-технического обеспечения научно-обоснованных технологий. Несбалансированное питание или неравномерное внесение, как правило, определяется не недостатком знаний, а отсутствием средств на приобретение удобрений или машин для внесения. Решению экологических проблем будет содействовать полное обеспечение аграрного сектора машинами для транспортировки и внесения средств химизации, строительство достаточного количества складов для хранения средств химизации.

С другой стороны, снижению угрозы экологических проблем будет способствовать повышение общей культуры земледелия в целом, освоение севооборотов, внедрение интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, совершенствование ассортимента и качества агрохимических средств (безбалластность, высокая концентрация действующего вещества, наличие добавок микроэлементов или стимуляторов роста, пролонгированность действия, гранулированность, устранение слеживаемости). Больше всего химических средств на единицу продукции применяется в Японии, где самая высокая продолжительность жизни.

Наибольшую опасность с экологической точки зрения представляет азот. Резервы улучшения баланса этого элемента состоят в совершенствовании прогноза потребности в азотных удобрениях (в частности, за счет внедрения почвенной и растительной диагностики), повышении коэффициента использования азота растениями, снижении всех источников потерь азота, максимальном использовании биологически связываемого азота, сочетании удобрения азотом с грамотным известкованием почвы.

Поддержание оптимального фосфатного режима почвы затруднено отсутствием природных источников пополнения его запасов, поэтому внесение фосфорных и органических удобрений не имеет альтернативы. Основные задачи – увеличение коэффициента использования фосфора почвы и удобрений, недопущение внесения высоких однократных доз этого элемента, совершенствование форм фосфорных удобрений в плане снижения вредного балласта, сочетание с оптимальной реакцией почвенной среды, установление доз с учетом обеспеченности почв подвижными формами фосфора.

Оптимизация калийного питания растений является более легкой задачей ввиду достаточности производства хлористого калия промышленностью страны, но этот элемент сравнительно менее изучен. Вместе с тем хорошо известна необходимость избегать переизвесткования из-за возможного закрепления калия в недоступной для растений форме, различия биологических особенностей культур севооборота по отношению к калию.

Достижение оптимальной реакции почвенной среды благоприятно с экологической точки зрения, но следует избегать избыточного известкования из-за закрепления ряда элементов питания в недоступной форме, нарушения соотношения между ионами в поглощающем комплексе и почвенном растворе.

Важными экологическими проблемами агрохимического воздействия на почву являются также проблемы использования жидкого навоза, осад-

ка сточных вод, твердых бытовых отходов. Здесь требуется введение и соблюдение ряда экологических ограничений по дозам, срокам, культурам, технологиям.

Общие **экологические ограничения** предусматривают максимальное поступление азота с органическими и минеральными удобрениями (в сумме), не более 250 кг/га в год на суглинистых, 200–230 – на супесчаных и 160–180 кг/га на песчаных почвах во избежание загрязнения грунтовых и подземных вод нитратами. Экологически опасно вносить фосфорные удобрения при содержании P_2O_5 в суглинистых почвах свыше 400 мг/кг почвы, супесчаных – 300 и песчаных – 250 мг/кг. Ограничения введены и для калийных удобрений, извести, микроудобрений, а также на распашку крутых склонов и переуплотнение почв. Предельно допустимое давление при влажности почвы 80–90 % от полевой влагоемкости – не более 90–100 КПа, при влажности 60–70 % – не более 110–140 КПа. Все весенние полевые работы на переувлажненных почвах должны выполняться только гусеничными тракторами, а колесные тракторы использоваться преимущественно в сухие периоды года, летом и осенью. Уплотнению почв препятствуют запахивание сидератов, соломы, рыхление подпахотного горизонта и др.

Применение средств химизации имеет большое значение и в зоне **радиоактивного загрязнения**, которому в результате аварии на ЧАЭС подверглись 4,56 млн. га земель (23 % территории Беларуси), в том числе 1,86 млн. га сельскохозяйственных угодий. 80–90 % долгоживущих радионуклидов сосредоточено в корнеобитаемом слое и долгое время еще будут попадать в сельскохозяйственную продукцию. Особенно подвижен стронций-90, хотя территория загрязнения этим элементом значительно ниже, чем цезием-137.

Для снижения поступления радионуклидов в продукцию науке известно довольно много методов (Агеев В.Ю., 2001), таких как заделка загрязненного слоя почвы в подпахотный горизонт за пределы зоны распространения корней; подбор культур и сортов, накапливающих минимальные количества радионуклидов; размещение на загрязненных почвах технических культур, использование почв под семенные участки; минимальное размещение экологически более опасных видов культурных растений на переувлажненных почвах.

Одним из мощнейших способов снижения поступления радионуклидов в продукцию растениеводства являются химико-мелиоративные мероприятия. В первую очередь это – разбавление поступивших в почву в виде практически невесомых примесей радионуклидов их химическими аналогами (кальций, калий); уменьшение степени доступности радио-

нуклидов в почве путем внесения веществ, переводящих в менее доступные формы (органическое вещество, фосфаты, карбонаты, глинистые минералы).

Азотные удобрения обычно способствуют повышению содержания радионуклидов в продукции, но в то же время они необходимы для получения существенного урожая, что способствует снижению загрязненности за счет так называемого эффекта разбавления. В этой связи в системе удобрения культур на загрязненных землях внесение азотных удобрений должно быть обязательным, но в несколько меньших дозах.

Фосфорные удобрения способствуют снижению поступления нуклидов и в данной зоне следует применять повышенные дозы, особенно на слабообеспеченных почвах. Именно в загрязненной радионуклидами зоне в настоящее время может всерьез вестись речь об химическом окультуривании как по фосфору, так и по калию. Внесение калийных удобрений в наибольшей степени способствует снижению содержания радиоцезия в продукции, по некоторым культурам – до 3–5 раз на слабообеспеченных почвах. Нормативы поступления цезия-137 в продукцию отдельных культур в настоящее время дифференцированы именно по содержанию подвижного калия в почве.

Имеются многочисленные данные о позитивном эффекте органических и микроудобрений в радиоактивной зоне, хотя механизм этого влияния пока не ясен.

Особенно распространенным дешевым средством снижения поступления радиоцезия и, особенно, радиостронция является известкование. Именно поэтому в Республике Беларусь для загрязненных земель предусмотрено внесение повышенных (до двух раз) доз известковых мелиорантов.

13. ЭРОЗИЯ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

Проблема эрозии почв актуальна для Беларуси, так как особенности геоморфологии, характер почвообразующих пород и интенсивная антропогенная нагрузка на почвенный покров обусловили значительное ее проявление. Эродированные почвы на пашне занимают в республике 480 тыс. га (9,4 % от общей площади). Кроме этого, 2108 тыс. га или 41,2 % пахотных земель относятся к эрозионноопасным, которые при неправильном использовании могут быть подвержены эрозии.

Эрозия наносит существенный эколого-экономический ущерб. На пахотных землях ежегодно с одного гектара водосборной площади с поверхностным стоком смывается или выносятся ветром в среднем до 10–15 т твер-

дой фазы почвы, 150–180 кг гумусовых веществ, безвозвратно теряется до 10 кг азота, 4–5 кг фосфора и калия, 5–6 кг кальция и магния. Потери гумуса и элементов питания, ухудшение агрофизических, биологических и агрохимических свойств отрицательно сказываются на производительной способности эродированных почв. Средние недоборы урожаев зерновых культур из-за ухудшения свойств почв, подверженных эрозии, составляют в зависимости от степени их эродированности 12–40 %; пропашных – 20–60; льна – 15–40; многолетних трав – 5–30 %.

Экологический ущерб от эрозии выражается в том, что в условиях холмистого рельефа и близкого расположения пахотных земель к акватории водоемов смываемый мелкозем и биогенные элементы приводят к заилению и загрязнению рек и водоемов нитратами, фосфатами, хлоридами, пестицидами. Ухудшается качество поверхностных вод и водных ресурсов в целом.

Наиболее опасной в эрозионном отношении является северная и центральная части республики, имеющие возвышенный и пересеченный рельеф, где распространены моренные и лёссовидные суглинки. На таких почвах атмосферные осадки медленно проникают в глубь почвы, в основной массе стекают по поверхности, вызывая смывы и размывы. Почвы более легкого гранулометрического состава, имеющие большую водопроницаемость, способные поглощать даже обильные осадки и переводить их во внутрипочвенный сток, менее подвержены водной эрозии. В засушливые периоды они могут подвергаться ветровой эрозии.

Однако вышеперечисленные факторы являются только фоном или предпосылкой для возникновения эрозионных процессов. Основной и непосредственной причиной их возникновения является производственная деятельность человека. Это в первую очередь обуславливается уничтожением естественной растительности и распашкой. На севере Беларуси, где в основном распространены суглинистые почвы на морене с короткими склонами, развитие эрозионных процессов происходит в виде плоскостного смыва. В центральной части республики, где распространены почвы на пылеватых суглинках с более длинными склонами, развитие эрозионных процессов происходит в виде поверхностного смыва и глубинного размыва (образование оврагов).

В южной части Белоруссии (Полесье), где в основном распространены почвы на мелкозернистых рыхлых песках, характеризующихся малой влагоемкостью, наблюдается развитие ветровой эрозии. Дефляционная опасность усугубляется еще и тем, что значительная часть территории Полесья представлена маломощными торфяно-болотными почвами, которые после осушения частично дефлируются.

В зависимости от основных факторов, обуславливающих развитие эрозионных процессов, на территории Белоруссии выделяются следующие почвенно-эрозионные районы:

1. Район проявления линейной и сильной плоскостной эрозии, охватывающий большую часть Минской, Новогрудской, Оршанской, Мозырской возвышенностей и Оршанско-Могилевское плато, занимает около 6,1 % территории Беларуси. Для района характерны длинные склоны, почвы, развивающиеся на мощных лёссовидных суглинках и лёссах, малая водопроницаемость, сравнительно большое количество талых вод весной и интенсивных дождей летом.

2. Район проявления сильной плоскостной эрозии занимает 6,7 % территории Беларуси – территория расчлененного рельефа Невельско-Городокской, Витебской и Латгальской возвышенностей, Белорусского Поозерья и Свенцянекой гряды. Для данного района характерен холмистый рельеф, короткие склоны, пестрый гранулометрический состав почв, выпадение большого количества осадков, но небольшой снежный покров.

3. Район средней плоскостной и слабой линейной эрозии занимает сглаженные слабохолмистые и волнистые площади Ошмянской, северной части Минской, а также Гродненскую и Волковысскую возвышенности, Копыльскую гряду и большую часть Оршанско-Могилевского плато (17 % территории).

4. Район проявления средней плоскостной эрозии занимает 5,6 % площади Беларуси с менее расчлененным рельефом в области Валдайского оледенения в полосе Мядель, Докшицы, Глубокое, Ушачи, Чашники, Шумилино, Сенно. Для него характерен сглаженный холмистый рельеф с короткими склонами, супесчаными и суглинистыми почвами.

5. Район проявления слабой эрозии охватывает 23,8 % территории Беларуси. Он занимает волнистые равнины с отдельными склонами средней крутизны, с суглинистыми супесчаными и песчаными почвами.

6. Район распространения песчано-болотных и озерно-ледниковых равнин не опасен для водной эрозии. При неправильном использовании почв может развиваться ветровая эрозия. Этот район занимает 40,8 % территории Беларуси (цветная вклейка 10).

В процессе развития эрозии смываются водой и разрушаются ветром в основном верхние горизонты почв, в результате формируются почвы с иными свойствами – эродированные. В зависимости от того, какие горизонты разрушены и на каких горизонтах или почвообразующих породах образуются новые почвы, свойства их будут разными. Например, у почв, подверженных ветровой эрозии, теряется в первую очередь пылевая фракция и происходит относительное увеличение песчаной фрак-

ции. В связи с утяжелением гранулометрического состава почв при смыве верхних горизонтов растет не только плотность сложения, но даже плотность твердой фазы, снижается пористость, капиллярная и полная влагоемкость. При эрозии снижается не только содержание гумуса, но и элементов питания.

В основу мероприятий по борьбе с эрозией почв положено правильное размещение на территории лесной и травянистой растительности и применение специальных обработок. В противоэрозионные мероприятия входят: соответствующая местным условиям система обработки почв, введение специальных севооборотов, применение нужных доз органических и минеральных удобрений, регулирование водного режима и т. д.

Поскольку эрозионные процессы возникают преимущественно на пахотных землях, основными мероприятиями по борьбе с этими процессами должны быть агротехнические: различные приемы обработки, посева, посадки, культивации, снегозадержания и регулирования снеготаяния, внесение повышенных доз органических и минеральных удобрений, широкое применение промежуточных культур и сидератов.

В севооборотах поля следует нарезать так, чтобы длинные стороны их имели направление поперек склона, прокладывать полевые дороги, чтобы они не давали начала развитию эрозии. При необходимости надо создавать систему полезащитных насаждений, проводить облесение оврагов, балок, песков, эродированных берегов рек, каналов и других земель, регулировать пастьбу скота, особенно на песчаных почвах.

Вся агротехника на склоновых землях должна быть направлена на предотвращение поверхностного стока и эрозии путем увеличения водопроницаемости почв, создания противоэрозионного рельефа, повышения почвозащитной роли растительного покрова. Для увеличения водопроницаемости, задержания влаги в почве, уменьшения поверхностного стока, и постепенного создания мощного окультуренного слоя необходимо последний периодически рыхлить или углублять без выворачивания на поверхность нижних, менее плодородных, горизонтов. Вспашка поперек склонов является одним из наиболее простых приемов борьбы с эрозией почв. Она почти полностью предотвращает поверхностный сток воды, смыв почвы на выровненных односторонних склонах до 5 градусов. На более крутых склонах для задержания талых вод и уменьшения смыва дополнительно проводят бороздование и обвалование склонов.

Агробиологические мероприятия также играют важную роль в борьбе с эрозией почв. Они основаны на противоэрозионных свойствах самих растений, их корневых систем, густоты покрытия. Поэтому правильный подбор культур для возделывания их на склоновых землях, размещение

рядков поперек склонов, ранний и перекрестный сев, применение оптимально загущенных посевов, введение подсевных культур, увеличение площади многолетних и однолетних трав, внесение повышенных доз органических и минеральных удобрений, известкование (где это необходимо) и другие мероприятия способствуют оструктурированию почв, повышению их плодородия и одновременно являются и противоэрозионными мероприятиями.

Борьба с ветровой эрозией песчаных почв главным образом сводится к закреплению их лесопосадками (подвижных песков, в основном средне- и сильноразвеваемых ветром). Слабо и частично среднеразвеваемые песчаные и супесчаные почвы необходимо использовать в сельскохозяйственных целях, применяя внесение повышенных доз минеральных и особенно органических удобрений в виде суспензии торфа, посев сидератов, ранний и перекрестный сев, пахоту без выворачивания на поверхность нижележащих песков, снегозадержание, посадку лесополос.

Для предотвращения развития эрозии почв на торфяно-болотных почвах необходимо обеспечить оптимальную влажность верхних слоев почвы, для чего в осушительной системе необходимо предусматривать двухстороннее регулирование водного режима, обуславливающее постоянную капиллярную связь между верхними и нижними горизонтами.

Наряду с ветровой эрозией на торфяно-болотных почвах Беларуси проявляется так называемая биологическая эрозия почв, то есть механическая усадка и минерализация под влиянием мелиорации. Толщина ежегодного отложения (накопление) торфа в естественных условиях колеблется от 0,5 до 2,3 мм, или 1,5 т/га в год. Скорость сработки торфа в условиях Беларуси на осушенных пахотных торфяно-болотных почвах составляет 1–3 см в год, или 15–45 т/га. Она существенно снижается путем резкого уменьшения доли пропашных культур и увеличения посевов многолетних трав.

Успешное решение глобальной и экологически выраженной проблемы разработки эффективных мер борьбы с эрозией в значительной степени зависит от учета региональных особенностей возникновения и развития эрозионных процессов.

Разработка противоэрозионных комплексов невозможна без учета способности самой почвы противостоять размывающему действию водного потока. Выполненные институтом почвоведения и агрохимии исследования (табл. 13.1) по определению противоэрозионной устойчивости почв на основе данных гранулометрического и валового химического составов, а также расчета коэффициента фильтрации позволили дать количественную оценку этого показателя для почв на различных генетических группах почвообразующих

пород и ранжировать их по способности противостоять эрозионной деградации.

Таблица 13.1.

Группировка почвообразующих пород по их устойчивости к эрозии
(Проектирование противоэрозионных комплексов..., Минск, 2005)

Почвообразующая порода	Показатели устойчивости		
	Кгран.	Кфильтр., м/сут	SiQ ₂ /R ₂ O ₃ *10
<i>Очень низкая</i>			
Лессовидные суглинки и лессы	0,20	0,14	1,05
<i>Низкая</i>			
Водно-ледниковые суглинки	0,85	0,20	1,62
Моренные суглинки	1,12	0,26	1,83
<i>Средняя</i>			
Моренные супеси	1,97	0,27	1,87
Водно-ледниковые и древнеаллювиальные супеси	1,56	0,45	1,90
<i>Высокая</i>			
Моренные пески	8,34	3,62	2,25
Водно-ледниковые пески	7,34	2,05	2,60
Древнеаллювиальные пески	9,63	4,93	3,67

Расчет потенциальных потерь почвы при дефляции осуществляется по величине дефляционного потенциала ветра и дефлируемости почвы. Дефляционный потенциал ветра определяется при пороговых скоростях 5–6 м/сек, 7–10 и более 15 м/сек. Дефлируемость почвы зависит от агрофизических свойств, в первую очередь от прочностных характеристик ее зерен, которые определяются гранулометрическим составом и содержанием гумуса. Предварительная экспертная оценка дефляционной опасности территории устанавливается по удельному весу дефляционноопасных почв. К дефляционноопасным относятся рыхлосупесчаные, подстилаемые песками, и песчаные автоморфные и осушенные заболоченные, а также торфяные почвы.

Важную роль в предотвращении деградации от эрозии играют сельскохозяйственные культуры и правильные севообороты. Растительность всех видов является мощным противоэрозионным фактором, который в наибольшей степени подвергается воздействию человека. Основной почвозащитный эффект оказывают наземные части растений. По почвозащитной эффективности (способности) культуры разделены на три группы: 1) высокой почвозащитной эффективности – многолетние травы (первого года

– 0,92, второго-третьего года – 0,98), озимые зерновые, озимый рапс (0,89); 2) средней почвозащитной эффективности – яровые зерновые и зернобобовые (0,36), однолетние травы (0,36), лен (0,25); 3) низкой почвозащитной эффективности – пропашные культуры (картофель, сахарная и кормовая свекла, кукуруза) (0,08).

Обработка почвы является важнейшим агротехническим противоэрозионным приемом и имеет целью перевод поверхностного стока во внутрипочвенный, а также уменьшение испарения с обрабатываемой поверхности. Разнообразие почвенного покрова в агроландшафтах обуславливает дифференцированные системы обработки почвы.

Конкретные системы обработки почв зависят от характера рельефа и почвенно-агрофизических условий; потенциала развития деградационных процессов (эрозия, переуплотнение); требований сельскохозяйственных культур к свойствам почвы; фитосанитарной обстановки в агроэкосистемах (засоренность, насыщенность вредителями и возбудителями болезней). На эродированных землях должны применяться специальные приемы обработки почвы: контурная поперечная обработка; углубление пахотного слоя или разуплотнение подпахотного слоя; предзимнее щелевание зяби.

Удобрения оказывают многостороннее влияние на проявление эрозионных процессов. Органические удобрения повышают содержание в почве органического вещества, которое способствует улучшению физических свойств почв, обуславливающих их противоэрозионную стойкость. По мере увеличения степени смывости почв противоэрозионная роль органических удобрений возрастает.

Положительное влияние минеральных удобрений на снижение процессов эрозии проявляется в том, что они усиливают почвозащитные функции растений, стимулируя их рост и развитие, образование мощной корневой системы и надземной биомассы (увеличение проективного покрытия почвы). В то же время длительное применение только минеральных удобрений может приводить к ухудшению физических свойств почв, а в связи с этим снижать их противоэрозионную устойчивость.

Совместное внесение органических и минеральных удобрений не только способствует повышению противоэрозионной стойкости почв, но также стимулирует формирование мощной надземной биомассы (площади листьев и кустистости) и корневой системы растений, то есть увеличение проективного покрытия почвы растительностью.

14. ГИДРОТЕХНИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ

Естественное состояние почв часто не соответствует требованиям, которые к ним предъявляются человеком, что вызывает необходимость проведения мероприятий по их улучшению. Система организационных, хозяйственных и технических мероприятий, задачей которых является коренное улучшение неблагоприятных свойств почв, а также условий их использования, называется мелиорацией (от лат. *melioratio* – улучшение). Она включает в себя систему мероприятий по осушению (водная мелиорация), улучшению поверхностного состояния (культуртехническая мелиорация), в борьбе с эрозией (земельная мелиорация), известкование почв и внесение минеральных удобрений (химическая мелиорация) и др.

На территории Беларуси наибольшее распространение имеют водные (осушительные и осушительно-увлажнительные), культуртехнические и химические мелиорации.

Если заболачивание земель вызвано поверхностными водами, то **осушительная мелиорация** этих земель заключается в регулировании стока поверхностных вод и ограждение осушаемой территории от притока вод извне. Если заболоченность вызвана грунтовыми водами, то мелиоративные мероприятия направлены на поддержание оптимальной влажности почвы за счет регулирования уровня грунтовых вод. Если заболачивание вызвано и теми и другими причинами одновременно, то осушение ведется способами, направленными на регулирование как поверхностных, так и грунтовых вод.

На территории Беларуси осушенные земли составляют более 3,4 млн. га (17 % территории), в том числе более 1,0 млн. га торфяно-болотных почв. Наибольшие площади осушенных сельскохозяйственных земель сосредоточены на территории Белорусского Полесья.

Осушительная мелиорация вызывает коренное изменение свойств почв и условий почвообразования. Изменяется не только скорость протекания, но и направление развития почвообразовательных процессов. В торфяно-болотных почвах процесс накопления торфа сменяется его разложением (минерализацией), что приводит к уменьшению мощности торфяного слоя, изменению его химического состава и свойств, увеличению зольности торфа. В дерновых и дерново-подзолистых заболоченных (глеевых) почвах при осушении идет вымывание из верхних горизонтов органического вещества (гумуса), и некоторых элементов питания растений, что приводит к снижению их потенциального плодородия, но повышает плодородие эффективное. Кроме изменений в почвах осушительная

мелиорация вызывает изменения микроклимата, гидрографической сети, растительного и животного мира, микроформ рельефа.

Осушительная мелиорация в условиях Беларуси должна обязательно сопровождаться мероприятиями по коренному улучшению поверхностного состояния и свойств почв. Система этих мероприятий называется **культуртехнической мелиорацией**.

Она включает ликвидацию мелколесья, кустарников, валунов, микроформ рельефа (кочек, промоин), увеличение мощности пахотного горизонта, увеличение площадей контуров видов земель. Культуртехнические мелиорации проводятся по проектам, составленным на основании почвенно-мелиоративных, геоботанических и культуртехнических обследований земель.

Культуртехнические мелиорации ведутся с соблюдением разработанных экологических, хозяйственно-экономических и технических норм. Важно, чтобы проводимые мероприятия не стимулировали развитие эрозии, не вызывали уменьшения мощности гумусового горизонта почв и не приводили к обеднению их гумусом и элементами питания растений. Необходимо следить, чтобы не были нарушены гнездовья птиц, нерестилища, экологические коридоры и другие, важные в экологическом плане места. Особое внимание должно уделяться редким, охраняемым видам растений и животных.

Осушительные и культуртехнические мелиорации часто сопровождаются работами по восстановлению нарушенных земель. Комплекс этих работ называется рекультивацией и чаще всего применяется при торфопроизводствах, создании водоприемников осушительных систем и др.

Свойства почв в наибольшей степени меняются при проведении **химической мелиорации**. Химическая мелиорация – система приемов химического воздействия на почву для улучшения ее свойств и повышения урожаев культурных растений.

Солеобогатительные химические мелиорации – мероприятия по увеличению содержания в почве необходимых питательных веществ, в первую очередь внесение органических и минеральных удобрений. Кислоторегулирующие химические мелиорации – мероприятия по созданию благоприятной реакции почвенной среды (в Беларуси – известкование).

С точки зрения географа сравнительно большее значение имеют те аспекты применения средств химизации в сельском хозяйстве, которые изменяют почву, окультуривают ее. При целенаправленном окультуривании изменяются практически все свойства почв. С увеличением степени окультуренности (табл. 14.1) увеличивается мощность пахотного горизонта, темнеет его окраска, улучшается оструктуренность. При высокой

степени окультуренности ниже пахотного слоя появляется гумусовый горизонт, а общая мощность гумусовых горизонтов в культурной почве (агрозоле) может достигать 60 см. Растет количество гумуса, которое может достигать 5–6 %, и улучшается его качество.

Окультурирование практически не меняет гранулометрический состав почв, но за счет увеличения доли органических коллоидов свойства существенно улучшаются. Так, общее количество сухих и водопрочных агрегатов увеличивается с 53 и 30 % в слабоокультуренной почве до 79 и 60 % в культурной. Существенно возрастает коэффициент структурности, снижается объемная, а в культурной почве – даже удельная масса почв.

Таблица 14.1

Изменение физических параметров пахотного слоя дерново-подзолистой супесчаной почвы в процессе окультурирования

Показатель	Почва				
	лесная	слабо-окультуренная	среднеокультуренная	сильно-окультуренная	культурная
Мощность Ап, см	–	18–26	20–30	22–33	более 30
Мощность А ₁ , см	До 18	0	До 7	5–15	10–30
Плотность сложения, г/см ³	1,2–1,4	1,45–1,6	1,35–1,55	1,2–1,4	1,0–1,3
Порозность, %	45–50	35–45	40–50	45–55	50–65
Удельная поверхность, м ² /г	30–40	20–25	21–30	27–37	более 35
Максимальная гигроскопичность, %	1,5–2,5	0,8–1,2	1,0–1,6	1,2–2,0	более 1,8
Коэффициент структурности	0,5–1,0	0,4–0,6	0,5–0,8	0,7–1,0	0,9–1,2
Коэффициент цветности	14,7	23,3	13,9	12,5	8,8
Коэффициент отражения	22,0	27,7	25,0	23,2	14,9

Улучшение физических характеристик значительно увеличивает запасы влаги в почве – до двух раз в сильноокультуренных и культурных почвах по сравнению с лесной.

Увеличение степени окультуренности, как правило, сопровождается снижением всех видов кислотности, повышением степени насыщенности почв основаниями – в культурной почве этот показатель достигает 90 % и более, тогда как обменного алюминия практически нет. Планомерное окультурирование значительно улучшает пищевой режим почв. Так, за последние 40 лет содержание подвижных соединений фосфора и калия в пахотных почвах Беларуси выросло в среднем в 5 раз. В сильноокультур-

ренных почвах обычно существенно возрастают запасы общего азота, увеличивается нитрифицирующая способность почв.

Основной прием окультуривания почв – внесение удобрений. В 2011 году в Беларуси внесено максимальное количество – 313 кг д. в. NPK на 1 га пашни, 10,3 т/га органических удобрений, 4,7 т/га известковых мелиорантов.

Эффективность удобрений, а в среднем 1 кг NPK в условиях Беларуси окупается 6 кг зерна или 40 кг картофеля, существенно зависит и от географических особенностей территории. Установлено, что разница в продуктивности культур на одинаковых почвах в разных частях республики (Вещезерова И.И., 1974 г.) может достигать 30–35 %. Наиболее высокие урожаи ячменя и озимой ржи на удобренных вариантах опытов получены в Центральной почвенной провинции, самые низкие – в Южной провинции из-за периодического недостатка влаги в ответственные периоды роста растений. Напротив, в Южной провинции отмечается более высокая эффективность калийных и органических удобрений при возделывании картофеля. Эти примеры показывают, что при практическом использовании почв республики необходимо принимать во внимание региональные и местные почвенно-географические условия, то есть системы земледелия должны быть адаптивными, приспособленными к конкретным условиям.

Существенная особенность почвы как основного средства сельскохозяйственного производства заключается в том, что почва при правильной агротехнике, применении удобрений и других приемов не снижает, а увеличивает свое плодородие. Истощают почву не высокие урожаи, а низкая продуктивность производства и низкая производительность земли. Наши белорусские почвы нуждаются в заботливой охране. Охрана почвы и ее правильное рациональное использование, повышение плодородия – понятия неразрывные. Охранять земли – значит рационально их использовать, добиваться высоких устойчивых урожаев и высокой продуктивности сенокосов и пастбищ. Этого можно достигнуть только с помощью всемерной интенсификации производства, эффективного осушения, борьбы с эрозией почвы, проведения защитного лесоразведения, научно обоснованных севооборотов, совершенствования структуры посевных площадей.

При высоких урожаях объем органического вещества, оставляемого в почве, становится близким к объему, создаваемому в естественных условиях луговыми степями, т. е. такими сообществами растений, которые формируют в природе самые плодородные почвы – черноземы. Не случайно самые окультуренные почвы Беларуси (культурные, или агрокультиземы, агроземы) имеют внешний облик и основные свойства, более близкие к

черноземам, чем к дерново-подзолистым или иным их естественным аналогам. Урожаи зерна в 100 ц/га в настоящее время в отдельные годы становятся реальностью и для условий Беларуси благодаря целенаправленному улучшению свойств почв и правильной агротехнике возделывания культур.

В почвоведении основная практическая задача – ликвидация или минимизация лимитирующих почвенное плодородие факторов с помощью коренных почвенных мелиораций и агротехнологических приемов. Основными приемами для условий Беларуси являются: известкование; оструктуривание, рыхление, травосеяние; минеральные и органические удобрения; осушительный дренаж.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. Минск, 2015. – 282 с.
2. Белобров В.П., Замотаев И.В., Овечкин С.В. География почв с основами почвоведения. М., 2004. 352 с.
3. География почв Беларуси / Клебанович Н.В. и др. Минск, 2011. – 183 с.
4. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. М., 2005. – 336 с.
5. Мировая коррелятивная база почвенных ресурсов: основа для международной классификации почв. М., 2007. 278 с.
6. Почвы Белорусской ССР. Минск, 1974. 328 с.
7. Романова Т.А. Почвы Беларуси и их классификация в системе ФАО-WRB. Минск. 2004. 496 с.

Дополнительная

8. Авдонин Н.С. Агрохимия. -1982.-344 с.
9. Агеец В.Ю. Система радиозэкологических контрмер в агрофере Беларуси. Мн., 2001. – 248 с.
10. Агрохимия: учебное пособие /И.Р. Вильдфлуш, С.П. Кукреш, А.Р. Цыганов и др. – Мн.: Ураджай, 2000. – 319 с.
11. Аношко В.С. Географические основы мелиорации. – Минск, 1974. – 175 с.
12. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвоведение. М.–Ростов-на-Дону. 2004. 496 с.
13. Заиков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.П. Кислотные дожди и окружающая среда. –М.–1991.–140с.
14. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – М., 1984. – 560 с.
15. Кедрау-Зіхман О.К. Вапнаванне глебаў БССР.–Мінск, 1951.–71с.
16. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений.– М.–1990.–220с.
17. Методика ведения мониторинга земель Республики Беларусь.– Минск.–1993.–68с.
18. Методика расчета баланса элементов питания в земледелии республики Беларусь. – Минск, 2001.–19с.
19. Пироговская Г.В. Медленнодействующие удобрения. – Минск, 2001. – 287 с.

20. Полевое исследование и картографирование почв БССР. / Н.И. Смян, Т.Н. Пучкарева, Г.А. Ржеутская. – Минск, 1990. – 221 с.
21. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. Минск, 2001.– 428 с.
22. Сергеев В.Т., Лисица В.Д. Глинистые минералы почв Беларуси. Минск, 2011. – 277с.
23. Смян Н.И. Пригодность почв БССР под сельскохозяйственные культуры.– Минск, 1980. – 175 с.
24. Смян Н.И. Почвы и структура посевных площадей. Минск, 1990. – 164 с.
25. Смирнов П.М., Муравин Э.А. Агрохимия.–М.–1988.–447с.
26. Соколова Т.А. Химические основы мелиорации кислых почв. – М., 1993.–178 с.
27. Томпсон Л.М., Троу Ф.Р. Почвы и их плодородие. М., 1982. – 462с.
28. Ягодин Б.А. (ред.) Агрохимия.–М.–1989.–650с.