

**М. Ф. Амиров**

**Программирование урожаев полевых культур**

Казань  
2018

УДК 633  
ББК 41/42  
А 28

Печатается по рекомендации  
Ученого совета и Учебно-методической комиссии  
Агрономического факультета  
Казанского государственного аграрного университета

Рецензенты:

В. Н. Фомин – д-р с.-х. наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе, зав. кафедрой ресурсосберегающей технологии производства продукции сельского хозяйства и лесного комплекса ФГБОУ ДПОС «Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса»

М. Ю. Гилязов – д-р с.-х. наук, профессор, профессор кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ»

Амироп М.Ф.

Программирование урожаев полевых культур. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2018. – 140 с.

ISBN 987-5-905201-39-4

В данном пособии изложены вопросы, связанные с требованием полевых культур к факторам внешней среды и обеспеченностью этими факторами, методики программирования урожайности в условиях Среднего Поволжья.

Предназначено для студентов и аспирантов сельскохозяйственного направления.

ISBN 978-5-905201-39-4



9 785905 201394

# ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>6</b>
<b>Раздел I. Теоретические основы оптимального программирования урожаев</b>	
Глава 1. Программирование урожаев как научная и учебная дисциплина	
1.1. История развития метода оптимального программирования	7
1.2. Законы растениеводства	11
1.3. Основные принципы программирования урожаев в формулировках И.С. Шатилова и М. К. Каюмова	13
1.4. Теоретические основы, методы исследований и основные этапы выполнения работы по программированию урожаев	15
Контрольные вопросы	18
<b>Раздел II. Характеристика отдельных факторов, контроль и регулирование</b>	
Глава 1. Фотосинтетически активная радиация и методы определения урожайности по приходу ФАР	
1.1. Солнечная радиация поступающая на Землю	19
1.2. Фотосинтетически активная радиация и методы её учёта	19
1.3. Использование растениями прихода ФАР и урожайность сельскохозяйственных культур	23
1.4. Методика и приемы расчета урожайности по приходу ФАР	25
1.5. Методика расчета КПД ФАР	26
Глава 2. Оценка биоклиматических показателей региона и возможности возделывания культур	
2.1. Тепловой режим	27
2.2. Условия увлажнения	34
2.3. Гидротермический коэффициент	37
Контрольные вопросы	39
Глава 3. Влагообеспеченность посевов сельскохозяйственных культур и определение действительно возможной урожайности	
3.1. Классификация видов урожайности	40
3.2. Показатели, характеризующие отношение полевых культур к влаге	40
3.3. Методика расчета ДВУ	42
3.4. Методика расчета коэффициентов водопотребления сельскохозяйственных культур	45
3.5. Методика оценки запасов продуктивной влаги в почве	48
3.6. Примеры расчета ДВУ по влагообеспеченности и	50

	потенциальные возможности культур в Республике Татарстан	
3.7.	Методика расчета оросительных норм	51
	Контрольные вопросы	52
Глава 4.	Фотосинтетическая деятельность сельскохозяйственных культур её зависимость от основных элементов структуры посевов	
4.1.	Площадь листовой поверхности и фотосинтетический потенциал посевов заданного уровня продуктивности	53
4.2.	Чистая продуктивность фотосинтеза	55
4.3.	Потенциальные возможности полевых культур в условиях Республики Татарстан	57
	Контрольные вопросы	59
	<b>Раздел III. Практические приемы программирования урожаев для обоснования агротехнологий производства полевых культур</b>	
Глава 1.	Программирование оптимальной густоты стеблестоя посевов	
1.1.	Условия, влияющие на формирование густоты посевов	61
1.2.	Норма высева семян и густота стеблестоя	63
1.3.	Оптимальная густота стеблестоя посевов и методика расчета нормы высева семян при программировании урожаев	66
	Контрольные вопросы	71
Глава 2.	Обоснование методов расчета доз удобрений под запрограммированный уровень урожайности полевых культур	
2.1.	Направления в расчетах доз удобрений	71
2.2.	Классификация расчетной (балансовой) группы методов определения доз удобрений	73
2.3.	Методика расчета коэффициентов использования доступных питательных веществ из почвы и удобрений	84
2.4.	Основные законы земледелия и растениеводства, учитываемые при оценке обеспеченности растений факторами внешней среды и расчете доз удобрений	85
2.5.	Методика расчета уровня урожайности сельскохозяйственных культур по эффективному плодородию	88
2.6.	Приемы оптимизации плодородия почв	88
	Контрольные вопросы	95
Глава 3.	Программирование урожаев – теоретические основы для разработки и использования передовых технологий возделывания полевых культур	
3.1.	Понятие «технология возделывания культур» и её основные элементы	96
3.2.	Севообороты их значение в повышении урожайности полевых культур и плодородие почвы	99

3.3.	Динамика урожайности зерновых культур в странах Западной Европы в XVIII – начале XX веков в связи с введением плодосмена (севооборотов) и применением минеральных удобрений	102
3.4.	Некоторые результаты освоения севооборотов с применением удобрений и других элементов технологии	104
3.5.	Урожайность зерновых культур в зависимости от количества внесенных минеральных удобрений в ряде стран мира и РФ в 80-е годы XX столетия	106
3.6.	Особенности методики расчета доз удобрений и практика их использования в Германии	110
3.7.	Классификация, общие требования к кормовым севооборотам	114
3.8.	Виды кормовых севооборотов для Республики Татарстан и методы оценки их продуктивности	115
3.9.	Промежуточные культуры и их значение в повышении урожайности и использовании ФАР в кормовых севооборотах Контрольные вопросы	118 120
Глава 4.	Разработка конкретных мер по борьбе с вредителями, болезнями и сорняками, обеспечивающих выращивание здоровых растений	
4.1.	Возможные потери урожая полевых культур от вредителей, болезней и сорняков	121
4.2.	Интегрированные системы защиты растений Контрольные вопросы	124 129
Глава 5.	Использование географических информационных систем при программировании урожаев полевых культур	
5.1.	Географические информационные системы (ГИС)	130
5.2.	Использование ГИС при программировании урожаев полевых культур Контрольные вопросы	131 136
	Литература	137
	Словарь терминов (Глоссарий)	139

## Введение

Для удовлетворения людей продуктами питания, обеспечения сельскохозяйственных животных кормами, отраслей промышленности сырьем, получение высоких и стабильных урожаев соответствующих стандартам по качеству остается основной задачей отрасли растениеводства. Повысить урожайность возделываемых культур можно путем вложения дополнительных средств на применение новых эффективных технологий возделывания, высокоурожайных сортов и гибридов, машин и оборудования по возделыванию культур, удобрений, средств борьбы с сорняками и защиты от вредителей и болезней, хранению и переработке сельскохозяйственной продукции и т. д., то есть интенсивный путь развития отрасли. Вместе с тем, нам известно, что повышение спроса на энергоресурсы повлекло за собой повышение стоимости сельскохозяйственной техники, удобрений, гербицидов, горючего, а, следовательно, и затраты на производимые продукты, что в связи с увеличивающимся спросом приводит к постоянному и неуклонному росту цен на продовольственные товары.

Задача повышения урожайности культуры с одновременным снижением себестоимости производимой продукции, вызывает необходимость заранее рассчитать возможный уровень урожайности в зависимости от обеспеченности посевов факторами внешней среды, потенциальных возможностей культуры, сорта и др., то есть обладать умением программировать урожайность.

Программирование урожайности полевых культур крайне сложно, поскольку конечные результаты во многом зависят от природных, складывающихся в текущем году метеорологических условий, потому следует заранее предвидеть множество случайностей, связанных с природными явлениями.

Программирование урожаев как научная и учебная дисциплина рассматривает вопросы, связанные с требованием полевых культур к факторам внешней среды и обеспеченностью этими факторами. Она позволяет наиболее полно рассчитывать и удовлетворять потребности растений (посевов) в регулируемых факторах, наиболее полно используя в конкретных почвенно-климатических условиях частично регулируемые и нерегулируемые факторы. Овладев основами программирования урожаев, опираясь на знание биологических особенностей культуры, сорта, их требований к факторам внешней среды – воде, пище и др., можно заранее рассчитать уровень урожайности культуры. Под этот уровень можно определить потребность в регулируемых факторах: оптимальную густоту стеблестоя и нормы высеива семян, дозы удобрений, технологию обработки почвы, сроки и способы посева, приемы ухода за посевами и др., а также обеспечить в полном объеме и в оптимальные сроки этими факторами, что позволит достигнуть высоких урожаев культур, получение продукции растениеводства с невысокой себестоимостью при наиболее полном

использовании биоклиматического потенциала конкретного региона, агроландшафта.

## Раздел I. Теоретические основы оптимального программирования урожаев

### Глава 1. Программирование урожаев как научная и учебная дисциплина

#### 1.1. История развития метода оптимального программирования

Основы метода оптимального программирования урожаев были заложены в XIX – начале XX столетий основоположниками агрономической науки, которые проводили исследования, где оценивалась потребность растений в основных факторах жизни, рассчитываемых в количественных показателях. Метод оптимального программирования условий роста растений отображает стремление земледельца воспользоваться одновременно большим числом, приемов повышения урожаев, чтобы с единицы площади снимать максимум продукции. Среди ученых этого периода следует назвать Ю. Либиха, Г. Гельригеля, М.Э. Вольни, Ж.Б. Бусенго, А. Митчерлиха, Д.Н. Прянишникова, К.А. Тимирязева, В.Р. Вильямса, А.Г. Лорха и многих других. Большим вкладом в разрешение проблемы увеличения производства продуктов питания являются работы Н.И. Вавилова и его школы по привлечению и исследованию растительных ресурсов мира, отличные результаты селекционной работы П.П. Лукьяненко, В.С. Пустовойт, В.Н. Ремесло и ряда зарубежных селекционеров по созданию сортов интенсивного типа. Отдельные стороны проблемы планомерного повышения урожаев сельскохозяйственных культур разрабатывают многие отечественные и зарубежные агрохимики, растениеводы, почвоведы и специалисты других профилей.

Огромное значение научных выводов К.А. Тимирязева, о необходимости повышения процента усвоения растениями солнечной энергии – единственного источника жизни на Земле, не возможно не учитывать и сегодня. «Предел плодородия данной площади земли, – говорил он в 1897 году в лекции «Физиология растений как основа рационального земледелия», – определяется не количеством удобрения, которое мы могли бы ей доставить, не количеством влаги, которую мы ее оросим, а количеством световой энергии, которую посыпает на данную поверхность Солнце. Между тем, только отправляясь от этого положения, можем мы вполне понять экономическое значение земледелия. А такое понимание важно не для одного земледельца, но и для государственного человека».

Более интенсивно научные исследования, а также внедрение полученных результатов в производственную практику стали проводиться в 30-х годах прошлого столетия. Первые работы этого плана были проведены в те годы российским селекционером-картофелеводом А.Г. Лорхом, который для условий Московской области разработал систему получения урожая клубней

картофеля 500 ц/га, фактический же сбор превысил 528, а в последующие годы урожайность достигла 700 ц/га. Также для условий Московской области М.С. Савицкий (1973) разработал программу получения 100 ц/га зерна озимой пшеницы, в основу которой была положена формула, включающая основные элементы структуры урожая: количество растений и число продуктивных стеблей (колосяев) на единице площади, число зерен в колосе, массу 1000 зерен, а еще были рассчитаны и дробно внесены дозы удобрений, необходимые для формирования заданного уровня урожайности, в итоге фактическая урожайность составила 99,8 ц/га.

Растения, поглощая при участии хлорофилла – зеленого пигмента – солнечную энергию, преобразуют ее в химическую энергию органических соединений и накапливают массу растения. И поэтому основная проблема получения максимально возможного уровня урожайности заключается в том, чтобы научиться управлять фотосинтетической деятельностью агрофитоценоза и добиться наиболее полного использования посевами энергии солнечной радиации.

Идея К.А. Тимирязева развил и разработал фотосинтетическую основу методики программирования в 50-70-е годы А.А. Ничипорович, который доказывал, что урожайность зерна 60 ц/га можно считать лишь удовлетворительной, а высокие урожаи при полном использовании фотосинтетического потенциала посевов должны превышать 200 ц/га зерна или сухой фитомассы растений.

Важной попыткой создать научно обоснованный комплекс агротехнических приемов, способных обеспечить систематический рост урожаев, служат исследования В.Р. Вильямса. Его вдохновляли результаты опытов М.Э. Вольни, на основе которых он (В.Р. Вильямс) вычертил «График непрерывного повышения урожая при одновременном воздействии на свет, воду и пищу» (рис. 1).

В опытах М.Э. Вольни растение (яровая рожь) выращивалось в трех рядах стеклянных сосудов. Каждый ряд состоял из четырех сосудов, наполненных одинаковой во всех рядах почвой. Три сосуда каждого ряда содержали неудобренную почву, влажность которой для каждого отдельного сосуда во все время опыта поддерживалась ежедневной поливкой по весу в пределах 20, 40 и 60 % полной влагоёмкости. Четвертый сосуд каждого ряда содержал ту же почву, но получившую сильное удобрение, содержащее все элементы зольной пищи растений и азот в количестве, достаточном для производства очень высокого урожая, и в формах, не способных к восстановлению. Влажность почвы в этом сосуде поддерживалась на уровне 60 % ее полной влагоёмкости. Каждый из трех рядов сосудов в течение всего времени опыта содержался при различных условиях освещения: первый ряд при полном освещении, под прозрачными стеклами; второй ряд сосудов, где стекла крыши были заклеены папиросной бумагой; над третьим рядом сосудов стекла крыши заклеивались черной бумагой.

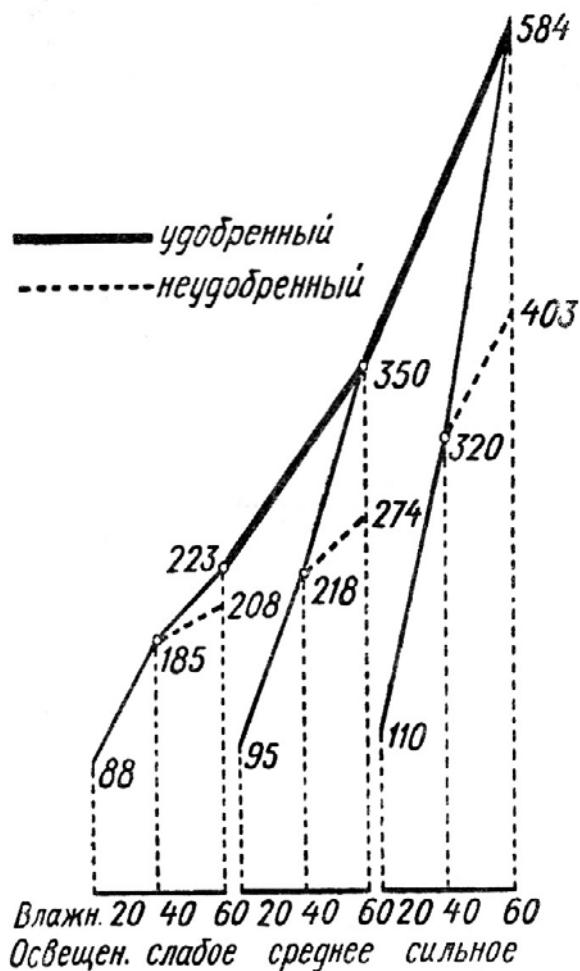


Рис. 1. График непрерывного повышения урожая при одновременном воздействии на свет, воду и пищу, вычерченный В.Р. Вильямсом.

Таким образом, условия, при которых находились ряды сосудов, отвечали сильному, среднему и слабому освещению. Результаты опыта приведены в таблице 1.

Таблица 1  
Урожай зеленой массы яровой ржи с каждого из сосудов  
в дециграммах (по М.Э. Вольни)

Показатели	Сосуды			
	неудобренные		удобренные	
Влажность почвы в процентах от полной влагоемкости .....	20	40	60	60
Урожай при сильном освещении	110	320	403	584
„ „ среднем „ .....	95	218	274	350
„ „ слабом „ .....	88	185	208	223

Кривая изменений величины урожая, начиная с 40% влагоёмкости, во всех трех рядах имеет двоякое направление. Первое, намеченное на графике прерванной линией, указывает на изменение величины урожая при увеличении влажности сосудов с неудобренной почвой с 40 до 60 % полной

влагоёмкости. Второе направление, намеченное сплошной линией, указывает на изменение величины урожая при одновременном изменении как влажности почвы с 40 % полной ее влагоёмкости до 60 %, так и увеличение содержания в почве пищи, т. е. указывает на изменение урожая в удобренном сосуде того же ряда. Растения, обеспеченные одновременно обильным запасом усвояемой пищи, имеют возможность производительно использовать большое количество воды, имеющейся в их распоряжении. Когда в сферу влияния на растения вступает третий фактор – свет, получается восходящая вверх линия, иллюстрирующая в какой-то степени условия прогресса урожаев. «Этот прогресс возможен лишь в том случае, – писал В.Р. Вильямс (1949), – когда наше воздействие на условия, в которых протекает это сложное производство, направлено одновременно на весь их комплекс. Этот комплекс условий представляет одно органическое целое, все элементы которого связаны неразрывно. Воздействие на один из этих элементов неминуемо влечет за собой необходимость воздействия и на все остальные».

В 50-90-е годы XX столетия изучение вопросов формирования урожаев сельскохозяйственных культур проводилось многими исследователями, сложились целые научные школы, например, А.М. Рябчиков и Т.И. Шашко разработали методы и предложили формулы для определения гидротермических показателей фитомассы и биологической продуктивности растений, позволяющих определить потенциальные возможности культур в разных почвенно-климатических условиях для формирования определенного уровня урожайности. Н.А. Ефимова (1969), Х.А. Молдау (1963) разработали методику расчета уровня урожайности по приходу фотосинтетически активной радиации (ФАР) с использованием среднего месячного прихода ФАР за вегетационный период, А.М. Алпатьев разработал методику балансового расчета прихода и расхода влаги посевами.

Особенно большая работа по изучению практически всех основных принципов программирования урожаев была проведена в Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева под руководством академика И.С. Шатилова, а также М.К. Каюмовым. Научные исследования по этой проблематике проводились во многих других научных и учебных заведениях: ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса, НИИ физиологии растений, Волгоградском СХИ (Г.Е. Листопад, А.А. Клиmov, А.Ф. Иванов, Г.П. Устенко, В.И. Филин), Черниговской опытной станции (К.П. Афендулов, Н.И. Лантухова), Ивановском СХИ (Ю.А. Чухнин), ТатНИИСХ (А.А. Зиганшин, Л.Р. Шарифуллин); большой вклад в разработку вопросов питания растений внесли В.Г. Минеев, Б.А. Ягодин и др. Отдельные вопросы применения программирования на посевах корнеплодов и овощных культур в Целиноградском СХИ КазССР изучались Н.Г. Щепетковым и др.

На основании проведенных многолетних исследований был сделан вывод, что программирование урожаев позволяет заранее рассчитать и определить параметры потенциала культур и сортов, элементов технологии возделывания в зависимости от влагообеспеченности и других факторов, в

частности – оптимальную (предуборочную) густоту стеблестоя, полагаясь на разработанную методику расчета норм высева семян при рациональном расходе семенного материала, оценить возможности формирования оптимальных значений площади листовой поверхности и фотосинтетического потенциала посевов, расчета доз удобрений и других показателей в условиях естественного увлажнения и орошения.

Обобщив накопленный научными учреждениями материал можно сделать заключение, что по всем основным вопросам программирования урожаев накоплен большой теоретический и практический материал, в том числе и в Среднем Поволжье, свидетельствующий о высокой эффективности применения этих приемов в производственной практике.

## 1.2. Законы растениеводства

Для нормального роста растений и их высокой продуктивности необходимы две группы факторов: космические – свет и тепло; земные – вода и сложный фактор – пища. Вегетирующие растения обязательно необходимо обеспечить одновременно такими питательными элементами, как углерод, кислород, водород, азот, фосфор, калий, магний, кальций, сера, железо. Это так называемые макроэлементы, потребляющиеся в больших количествах. Наряду с ними растениям нужны также микроэлементы, которые используются сравнительно в небольших количествах, но которых и в почвах содержится мало – молибден, цинк, кобальт, бор, марганец и др.

Действие и взаимодействие этих факторов при формировании урожаев многих сельскохозяйственных культур исследованы многократно во многих странах мира и получены совпадающие результаты. Выводы носят характер твердо установленных законов растениеводства. Напомним основные из них, которые имеют особо важное значение, для практики с точки зрения, понимания методов получения запрограммированных урожаев.

**Закон равнозначимости или незаменимости факторов жизни растений.** Сущность его состоит в том, что для нормальной жизнедеятельности растений исключение какого-либо фактора, пусть на первый взгляд незначительного, не может быть компенсировано ничем иным, кроме как им самим. Основные факторы жизни растения – свет, тепло, влага, питательные элементы – все они равнозначны и не могут быть взаимозаменямы.

**Закон ограничивающего фактора или закон минимума.** Согласно этому закону всякие дополнительные затраты в земледелии и растениеводстве без учета факторов, находящихся в минимуме, никогда не могут дать должного эффекта.

Этот закон имеет различные синонимы. Либих называл его законом минимума, Митчерлих – законом физиологического минимума, Блэкман – законом ограничивающих факторов, А.Г. Дояренко – законом минимума и оптимума, В.Д. Паников – законом минимума, оптимума и максимума

действия факторов жизни растений. Указанный закон имеет прямую связь с законом незаменимости и равнозначимости факторов.

Урожай растений лимитируется прежде всего тем фактором их жизни, который находится в минимуме. Лишь после устранения минимума или недостатка урожай будет повышаться до того момента, пока в минимуме не окажется какой-либо другой фактор слагаемого урожая. Например, если в почве усвоемого азота хватит для образования 1,5 тонн зерна с 1 гектара, а подвижных форм фосфора, калия и других элементов пищи достаточно на 3 тонны и больше, то урожай зерна все равно будет в пределах 1,5 т с га, т. е. лимитирует тот элемент, который находится в минимуме. Или если в почве имеется достаточное количество макро- и микроэлементов, но мало продуктивной влаги, то урожай будет ограничиваться влагой. Немаловажное значение имеет также реакция почвенной среды. Если при достаточном количестве элементов пищи и влаги почва имеет кислую реакцию, то урожай все равно будет невысоким. В данном случае следует устраниить кислую реакцию среды путем известкования.

**Закон возврата.** Сущность его заключается в том, что для поддержания эффективного плодородия почвы необходимо вносить в нее питательные элементы, потребленные растениями на создание урожая.

Д. Н. Прянишников писал: «С каждым урожаем растения уносят из почвы значительное количество азота и зольных веществ, и если эту потерю не возмещать, то постепенно происходит истощение почвы, и урожай падает». Нарушение закона возврата веществ может привести к утрате почвой ее плодородия. Например, исследования академика В.Д. Панникова, проведенные в 1939-1950 гг., показали, что за 70 лет со времени экспедиции профессора Докучаева количество перегноя в черноземах многих районов снизилось на 15-25 %, а местами уменьшение достигло 30-35 % и больше, так как с тех пор перегной, разлагаясь, использовался на формирование урожаев и, таким образом, безвозвратно отчуждался из почвы, понижая ее плодородие. В земледелии Российской Федерации, по данным А. В. Постникова и С. А. Шафран (1970), дефицит основных элементов питания достигает 27-62 %. Кроме того, часть питательных веществ теряется в результате эрозии. Смыв с одного гектара составляет от 50 до 450 тонн почвы в зависимости от почвенно-климатических условий и рельефа местности.

Разрыв в дефиците питательных веществ в связи с ежегодным возрастанием поставок минеральных удобрений сельскому хозяйству, а также увеличением применения органических удобрений в сочетании с противоэррозионными мероприятиями заметно сокращается. Соблюдение закона возврата питательных веществ имеет весьма важное значение для поддержания и повышения плодородия почв, достижения высокого урожая, а также получения продукции хорошего качества.

**Закон плодосмена.** Согласно этому закону чередование культур в пространстве и во времени позволяет при равных условиях получить более высокие урожаи, чем при повторных посевах или монокультуре.

**Закон критического периода полевых культур по отношению к фосфору.** Этот закон гласит: если растения полевой культуры в начале своего развития перенесли фосфорное голодаание, то они не смогут сформировать высокие урожаи зерна даже при хорошей обеспеченности фосфором в последующий период.

**Закон совокупного действия факторов.** Согласно этому закону, наивысшую продуктивность растений обеспечивает только оптимальное соотношение различных факторов, которое может быть различным в каждой зоне. Урожай является суммарным результатом или интегральной величиной совокупного действия многочисленных факторов жизни растений. Наивысшую эффективность в земледелии нельзя обеспечить одним каким-либо приемом, даже весьма сильным, ее можно достичь лишь применением всего комплекса агротехнических мероприятий.

Познание основных законов жизни растений является непременным условием для получения запланированных урожаев сельскохозяйственных культур. Разумно и грамотно используя законы земледелия и растениеводства, можно в каждом конкретном случае добиваться наивысшей продуктивности растений.

### 1.3. Основные принципы программирования урожаев в формулировках И.С. Шатилова и М.К. Каюмова

Урожайность любой культуры формируется при сложном взаимодействии растений с внешней средой, а ее уровень определяется обеспеченностью солнечной энергией, углекислым газом, водой, элементами минерального питания, состоянием водно-воздушного режима почвы и др.

Исходя из этого, зачинатель экспериментальных работ по получению запрограммированных урожаев академик И. С. Шатилов (1973) выдвинул следующие основные принципы программирования урожаев сельскохозяйственных культур. Первые пять из предложенных автором принципов предусматривают учет влияния факторов внешней среды на формирование урожая и методов их оценки.

1. Определение уровня урожайности по приходу фотосинтетически активной радиации (ФАР) и коэффициенту его использования.
2. Учет биоклиматических показателей и определение потенциальных возможностей культур и сортов в зависимости от конкретных почвенно-климатических условий.
3. Определение уровня урожайности по влагообеспеченности, исходя из складывающихся погодных условий, а на орошаемых землях обеспечение влагой в оптимальных размерах.

4. Учет и правильное применение законов и закономерностей земледелия и растениеводства.

5. Оценка потенциальных возможностей культур, агрофитоценозов, набор культур в севооборотах, а также в промежуточных посевах (поукосных, пожнивных).

Пять других принципов составляют технологическую схему возделывания культур.

1. Создание за счет соответствующих приемов фотосинтетического потенциала посевов, который способен в этих конкретных условиях обеспечить получение запрограммированного урожая.

2. Разработка комплекса агротехнических мероприятий, способствующих получению заданного уровня урожая.

3. Разработка системы удобрений с учетом выноса питательных веществ с программируемым урожаем, эффективного плодородия почвы и коэффициентов выноса питательных веществ из почвы и удобрений.

4. Разработка конкретных мер по борьбе с вредителями и болезнями, обеспечивающих выращивание здоровых растений и исключающих отрицательное влияние вредителей и болезней на урожайность соответствующей культуры.

5. Использование ЭВМ для расчета и выявления оптимального варианта комплекса агротехнических мероприятий, обеспечивающих получение максимально возможного уровня урожайности.

Опираясь на предложенные принципы программирования, можно комплексно совершенствовать технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Выделение названных принципов программирования имеет определенную условность, поэтому по мере накопления наукой и практикой новых сведений они могут совершенствоваться, дополняться.

Ученик И. С. Шатилова М. К. Каюмов (1989), основываясь на взаимосвязи роста растений с факторами внешней среды, сформулировал в новой редакции шесть принципов программирования урожаев, которые имеют определенную практическую значимость.

1. Физиологические принципы – формирование посевов с оптимальными показателями площади листьев, фотосинтетического потенциала (ФП), чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ), обеспечивающих получение максимально возможного урожая в конкретных почвенно-климатических условиях.

2. Биологические принципы связаны с оптимизацией водного, воздушного, теплового и питательного режимов почвы, что особенно успешно осуществляется в теплицах, камерах искусственного климата и др. В естественных условиях регулируют отдельные факторы или группу факторов, которые оказывают наибольшее влияние на продуктивность сортов. В частности тепловые мелиорации, гребневые посадки картофеля и посевы кукурузы, импульсное орошение и др.

3. Агрохимические принципы предусматривают обоснование экологически оправданных доз удобрения с учетом эффективного плодородия, выноса питательных веществ с урожаем, повышение окупаемости каждой единицы удобрений за счет лучшего способа их внесения: локального, ленточного, прикорневого и др.

4. Агрофизические принципы – оптимизация физических и физико-химических свойств почв (объемная масса, удельное сопротивление, пористость, плотность, влагоёмкость, водопроницаемость, теплоемкость и др.). Например, воздушный режим почвы достигает оптимального значения при объемной массе суглинистых почв не более 1,0-1,2 г/см<sup>3</sup> и не более 1,1-1,4 г/см<sup>3</sup> для супесчаных и песчаных почв.

5. Агрометорологические принципы – рациональное использование климатических показателей для обоснования продуктивности посевов, прогнозирования условий в течение вегетационного периода и др.

6. Агротехнические принципы заключаются в разработке и внедрении оптимальных для конкретных условий технологий возделывания культуры, обеспечивающих своевременное и высококачественное проведение всего агротехнического комплекса работ с учетом биологических особенностей культуры, сорта и почвенно-климатических условий региона.

Таким образом, ключевая задача повышения продуктивности посевов – увеличение использования солнечной радиации в процессе фотосинтеза за счет более полного обеспечения растений регулируемыми факторами путем внедрения интенсивных (оптимальных) технологий возделывания культур, наиболее полно учитывающих биологические особенности культур и сортов, а также соблюдения основных законов и закономерностей земледелия и растениеводства.

#### 1.4. Теоретические основы, методы исследований и основные этапы выполнения работы по программированию урожаев

Программирование урожаев рассматривается как новый раздел науки, в которой ставится цель и конечная задача, разрабатывается программа развития растений в онтогенезе, контролируется выполнение этой программы и управление ее ходом. Это раздел науки об управлении ростом и развитием растений, формированием посевов культур путем обеспечения их в нужное время регулируемыми факторами внешней среды (элементы питания, технология возделывания и др.), рационально используя в полевых условиях нерегулируемые (свет, тепло, влага, углекислый газ и др.).

Повышение уровня использования нерегулируемых факторов может быть достигнуто за счет целого ряда агротехнических приемов (подбор культур, сортов, сроки и способы посева, формирование оптимального количества растений на единице площади, внесение удобрений, выращивание здоровых растений и т. д.).

Оказать влияние на приход фотосинтетической активной радиации (ФАР) невозможно, однако можно формировать посевы определенной структуры с количеством растений и площадью листовой поверхности, которые сохраняли бы продолжительно работоспособность, фотосинтетический потенциал (ФП). Кроме того, на использование солнечной радиации влияют морфологические особенности растений, их габитус: растения с высоким и ярусным расположением листьев лучше аккумулируют солнечную энергию, чем с листьями в форме розетки, культуры и сорта с острым углом прикрепления листьев способны также более полно использовать ее, при расположении рядков с севера на юг урожайность выше, чем при расположении в рядках с востока на запад.

В зависимости от расположения поля в конкретном агроландшафте имеются и другие факторы, которые ограничивают уровень урожайности посевов: влагообеспеченность, плодородие почвы, реакция почвенной среды, воздушный режим, обеспеченность углекислотой. Учитывая биологические особенности культуры, сорта, их требования к факторам внешней среды, можно рассчитать величину запрограммированного урожая, под этот уровень урожайности определить оптимальную густоту посевов и норму высева семян, дозы удобрений, технологию обработки почвы и ухода за посевами и другие элементы прогрессивной технологии, что обеспечит получение высоких гарантированных урожаев полевых культур при наиболее полном использовании биоклиматического потенциала конкретного региона.

По мнению М. К. Каюмова (1989), «основная цель программирования состоит в том, чтобы, опираясь на достижения смежных наук (физиология растений, земледелие, растениеводство, почвоведение, агрохимия, метеорология, агрофизика, а также математика, кибернетика и экономика), перейти к широкому использованию в агрономии количественных моделей и электронно-вычислительной техники, применение которой позволяет быстро обрабатывать большую информацию о факторах, влияющих на рост растений, и рекомендовать оптимальный вариант агротехнических мероприятий, направленных на получение запрограммированных урожаев».

В сельском хозяйстве, в частности в растениеводстве, проводить программирование урожаев непросто, поскольку необходимо предвидеть и учитывать множество случайностей, которые связаны с природными условиями, при этом ряд факторов жизни растений – свет, тепло, влага – в естественных условиях – нерегулируемые или плохо регулируемые, и к ним приходится приспосабливаться путем применения соответствующих агротехнических приемов. Имеется также ряд факторов, которые можно регулировать, в частности – обеспечение элементами питания, создание оптимальной густоты стеблестоя посевов, борьба с сорняками, вредителями и болезнями, возделывание лучших для данного региона культур и сортов, условий увлажнения при орошении и др. Основная задача земледельца – обеспечить посевы культур всеми факторами внешней среды в оптимальных

количествах за счет применения той или иной технологии возделывания, способствующей оптимизации факторов жизни растений.

В формулировке И. С. Шатилова (1973), программирование урожаев – это разработка комплекса взаимосвязанных мероприятий, своевременное и качественное выполнение которых обеспечивает получение заранее рассчитанного урожая полевых культур высокого качества.

Вопросами познания растений и создания оптимальных условий для формирования урожаев занимаются науки и учебные дисциплины, входящие в программу подготовки агрономов: физиология растений, агрохимия, земледелие, растениеводство, селекция, защита растений, кормопроизводство, метеорология и ряд других. Урожайность культуры складывается под воздействием комплекса факторов, который не может быть механической суммой отдельных агроприемов, рекомендуемых каждой отдельной наукой, поскольку взаимодействие между ними изменяет арифметический результат суммирования, поэтому следует считать, что основной путь повышения продуктивности – разработка комплекса взаимосвязанных агротехнических приемов и оптимизация факторов, основанных на комплексном применении суммы знаний по всем растениеводческим дисциплинам. Этот метод исследуется в науке «Программирование урожаев сельскохозяйственных культур».

Программирование предусматривает обеспечение посевов всеми факторами, действующими на формирование урожайности выраженных в количественных показателях, и оценку прихода и расхода каждого фактора путем составления баланса.

Теоретической основой науки «Программирование урожаев» является фотосинтетическая деятельность, минеральное питание растений, управление формированием посевов оптимальной структуры, которые следует рассматривать как единую биологическую систему с определенными параметрами агрофитоценоза и климатических условий.

Объектом исследований является растение во взаимосвязи его роста и развития с факторами внешней среды.

Программирование урожайности позволяет дать научное доказательство понятиям максимального, или потенциального урожая (ПУ), действительно возможного урожая (ДВУ) и фактически получаемого в производственных условиях (УП), установить причины несоответствия УП ДВУ ПУ и определить приемы сокращения разрыва между этими показателями.

При программировании урожайности необходимо выполнить три основных этапа:

Первый этап – установление для определенной почвенно-климатической зоны лимитирующего комплекса факторов и обоснование его урожая на основе его моделирования.

Второй этап – разработка комплекса соответствующих агротехнических мероприятий с выбором конкретных количественных критериев эффективности производства (максимально возможная урожайность,

максимальный доход или минимальные затраты для получения заданной урожайности).

Третий этап – обеспечение оперативных наблюдений за ходом формирования урожая и внесения необходимых уточнений в систему запланированных агротехнических мероприятий в соответствии со складывающимися агрометеоположением.

## **Контрольные вопросы**

1. Этапы развития программирования урожаев как науки. Ученые внесшие вклад в развитие науки и ее популяризации.
2. Дайте оценку основных нерегулируемых и регулируемых факторов жизни растений на формирование урожайности.
3. Задачи программирования как науки, научные и учебные дисциплины, на которые опирается эта наука.
4. Методы исследований, применяемые в программировании урожаев, и объекты исследований. Отличие данных методов исследований от применяемых в других науках.
5. Какие приемы программирования позволяют управлять формированием урожайности полевых культур?
6. Теоретические основы программирования как научной дисциплины.
7. Принципы программирования урожайности в формулировке И.С. Шатилова. Их теоретическое и практическое значение.
8. Принципы программирования урожайности в формулировке М.К. Каюмова. Их теоретическое и практическое значение.
9. Каковы основные этапы программирования урожайности?

## Раздел II. Характеристика отдельных факторов, контроль и регулирование

### Глава 1. Фотосинтетически активная радиация и методы определения урожайности по приходу ФАР

#### 1.1. Солнечная радиация поступающая на Землю

Солнце является огромным и неистощимым источником энергии, который используется всеми растительными и животными организмами на Земле. Именно Солнцу, поставляющему на Землю энергию в виде радиации (тепло, свет), мы обязаны возникновением и сохранением жизни. Органическое вещество, накопленное растениями, в свою очередь используется травоядными животными и другими организмами как источник энергии, далее в этой экологической цепочке идут плотоядные животные, поедающие травоядных, а также насекомые, микроорганизмы и др., утилизирующие животные и растительные остатки. Накопленную за многие миллионы лет аккумулированную энергию растительных и животных организмов, живших в доисторические времена, полученную от Солнца в настоящее время человечество использует, добывая нефть, газ, каменный и бурый уголь, торф и другие ископаемые.

Количество энергии, поступающей на Землю от Солнца, измеряется поистине астрономическими цифрами – многими млрд. кДж/га и зависит от широты местности, времени года, времени суток – максимальное количество ее поступает в районе экватора, минимальное – возле полюсов, максимальное – в весенне-летний, минимальное – в осенне-зимний периоды.

Энергия поступает на Землю в виде радиации с длиной волн от 280 до 4000 нанометра (нм) или миллимикрона. Различают два вида естественной радиации:

- коротковолновая или интегральная с длиной волны 280-400 нм;
- длинноволновая с длиной волны 400-4000 нм.

Растения при участии пигментов хлорофилла, придающего листьям и растениям зеленый цвет, каротиноида – желтый, антоциана – красный и фитохрома – синий, усваивают солнечную радиацию, преобразуя ее в углеводы, т.е. энергия солнца в растениях аккумулируется в виде энергии накопленного органического вещества.

#### 1.2. Фотосинтетически активная радиация и методы ее учета

Растения в процессе фотосинтеза могут использовать из общего количества поступающей на земную поверхность солнечной радиации с длиной волн от 280 до 4000 нм только излучение в интервале от 310 до 710 нм, которое принято называть фотосинтетически активной радиацией (ФАР). В процессе фотосинтеза больше всего улавливаются сине-фиолетовые (с длиной волн 400-480 нм) и оранжево-красные лучи (620-680 нм). Их

поглощение достигает 80-95 %. На 60-75 % поглощаются желто-зеленые (520-580 нм) и лишь на 5-15 % – дальние красные и ближние инфракрасные лучи (720-800 нм). Поглощается также часть невидимых лучей. Общее количество участвующей в фотосинтезе радиации в средних широтах в полдень доходит до 43-45 % от прямой солнечной радиации. При восходе и заходе солнца она уменьшается до 10-20 %.

ФАР подразделяется на следующие виды:

$S'$  – прямая солнечная радиация – часть лучистой энергии Солнца, поступающая к земле в виде почти параллельных лучей от его видимого диска;

$D$  – рассеянная радиация – часть солнечной радиации, которая после рассеивания атмосферой и отражения от облаков падает на горизонтальную поверхность;

$Q$  – суммарная радиация, которая равна  $S' + D$ .

Прямую солнечную радиацию измеряют актинометрами и пирогелиометрами; суммарную рассеянную и отраженную радиацию – пиранометрами, приход прямой солнечной ФАР – фитоактинометрами, рассеянной и отраженной ФАР – фитопиранометрами.

Энергия ФАР, поступающая от Солнца, измеряется в кДж (ранее применялась ккал, которая равна 4,1868 кДж), зависящая от широты местности, времени года и суток. Например, в экваториальных, тропических районах за год поступает до 39-25 млрд. кДж на каждый гектар поверхности земли, а за полярным кругом – 5-6 млрд. кДж, то есть суммарный приход за теплый (вегетационный) период от Крайнего Севера до экватора возрастает в 7-8 раз, однако за короткий вегетационный период на Севере поступление ФАР в связи с длинным световым днем, сравнительно высокое.

При программировании урожайности по приходу ФАР следует иметь информацию по конкретному региону о приходе солнечной энергии, которая является энергетической основой фотосинтеза, транспирации, поглощения и передвижения элементов минерального питания и ассимилянтов. Приход солнечной энергии формирует тепловой, водный и воздушный режимы почвы и растений в течение всей их вегетации.

Измерение прихода ФАР – трудоемкая работа, требующая специального оборудования, может проводиться в учреждениях Гидрометслужбы, поэтому для приближенных расчетов можно пользоваться материалами климатологических карт, в которых приводятся средние месячные и за вегетационный период данные прихода суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности.

Продолжительность солнечного сияния в основном зависит от длины дня, т.е. широты места, и возрастает с севера на юг. Однако широтное распределение этой характеристики часто нарушается влиянием облачного покрова, обусловленного особенностями атмосферной циркуляции, и местными условиями, существенное влияние также оказывают условия

расположения метеорологических площадок. Уменьшение продолжительности солнечного сияния отмечается в городах из-за наличия большого количества пыли и дыма в атмосфере, а также вследствие большой защищенности горизонта городскими постройками.

Таблица 1.1  
Месячные и годовые суммы прямой радиации при ясном небе ( $\text{МДж}/\text{м}^2$ )

Месяцы	Пункты							
	Кострома	Нолинск	Нижн. Новгород	Вязовые	Самара	Ростоши	Саратов	Ершов
Янв.	50	67	67	67	96	98	109	109
Фев.	151	163	163	156	184	205	214	214
Март	339	348	348	354	389	398	406	402
Апр.	465	528	494	520	536	557	561	569
Май	662	696	675	687	700	679	700	700
Июнь	733	733	746	712	725	725	754	763
Июль	654	683	658	687	687	700	726	717
Авг.	569	574	553	569	569	553	603	587
Сент.	385	386	377	398	419	448	419	482
Окт.	238	205	218	205	268	272	193	298
Нояб.	80	88	122	113	134	159	155	155
Дек.	55	38	63	63	55	92	88	101
Год	4381	4508	4513	4546	4743	4885	5057	5099

Таблица 1.2  
Месячные и годовые суммы рассеянной радиации при ясном небе ( $\text{МДж}/\text{м}^2$ )

Месяцы	Пункты							
	Кост- рома	Нолинск	Нижн. Новгород	Вязовые	Самара	Ростоши	Саратов	Ершов
Янв.	34	34	29	57	55	71	59	59
Фев.	59	63	59	71	84	80	84	84
Март	104	109	105	126	117	138	130	130
Апр.	117	143	138	138	138	138	143	134
Май	155	155	163	168	155	148	147	147
Июнь	157	163	168	180	172	148	143	155
Июль	180	180	159	176	176	148	168	163
Авг.	130	138	130	138	151	143	143	143
Сент.	75	92	84	109	113	105	92	105
Окт.	50	63	75	59	75	42	75	75
Нояб.	34	38	42	38	50	46	50	46
Дек.	25	29	25	29	25	46	34	50
Год	1123	1207	1177	1281	1366	1282	1265	1291

Для оценки географического распределения месячных и годовых сумм продолжительности солнечного сияния по территории Среднего Поволжья построены 13 карт распределения этой величины. В основу которых,

положены среднемесячные значения продолжительности солнечного сияния по 37 станциям (Справочник ..., 1966).

Уменьшение продолжительности солнечного сияния на северо-западе обусловлено в основном большей повторяемостью пасмурного состояния неба. Наибольшее число часов с солнечным сиянием отмечается в июне – июле, наименьшее в декабре.

В приближенном выражении для расчета можно считать, что доля ФАР (380-710 нм) в интегральном потоке суммарной солнечной радиации (300-4000 нм) составляет 0,50 (К – для рассеянной радиации 0,58; К – для прямой солнечной радиации 0,42):

$$Q \text{ фар} = 0,43S + 0,57D, \quad (1.1)$$

где,  $Q \text{ фар}$  – ФАР (фотосинтетически активная радиация);  $S$  – прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность;  $D$  – рассеянная солнечная радиация.

Используя данные таблиц 1.1 и 1.2 можно рассчитать приход ФАР на единицу горизонтальной поверхности за месяц или за определенный период времени года для конкретного пункта региона. Далее можно определить приход ФАР на единицу поверхности за период вегетации озимых или яровых культур, а также для каждой культуры и сорта в отдельности (табл. 1.3).

Таблица 1.3  
Месячные и годовые суммы фотосинтетически активной радиации  
используемые разными группами культур по пункту Вязовые

Ме- сяцы	МДж/м <sup>2</sup>							
	S	0,43S	D	0,57D	Q фар	Q фар для озимых	Q фар для яровых	Q фар для сахарной свеклы
Янв.	67	28,8	57	32,5	-	-	-	-
Фев.	156	67,1	71	40,5	-	-	-	-
Март	354	152,2	126	71,8	-	-	-	-
Апр.	520	223,6	138	78,7	302,3	-	-	-
Май	687	295,4	168	95,8	391,2	391,2	195	195
Июнь	712	306,2	180	102,6	408,8	408,8	408,8	408,8
Июль	687	295,4	176	100,3	395,7	263,8	395,7	395,7
Авг.	569	244,7	138	78,7	323	-	-	323
Сент.	398	171,1	109	62,1	233,2	233,2	-	233,2
Окт.	205	88,1	59	33,6	121,7	40,6	-	40,6
Нояб.	113	48,6	38	21,7	-	-	-	-
Дек.	63	27,1	29	16,5	-	-	-	-
Год	4546	1948	1281	735	-	1337,6	999,5	1596,3

### 1.3. Использование растениями прихода ФАР и урожайность сельскохозяйственных культур

Потенциальную урожайность сельскохозяйственной культуры по приходу ФАР можно рассчитать по следующей методике: устанавливается фактическая продолжительность вегетационного периода исследуемой культуры, помесячные значения прихода ФАР суммируются за весь вегетационный период и определяется приход  $Q_{\text{фар}}$ . Затем составляется баланс, одна сторона которого приходная – приход ФАР на единицу площади, вторая (расходная) – количество энергии, накопленное урожаем биомассы на этой же площади, выраженных в кДж. Величина энергии, запасенной в урожае сухого вещества ( $Q_{\text{ур}}$ ) (расходная часть баланса), определяется по формуле:

$$Q_{\text{ур}} = Y \cdot C, \quad (1.2)$$

где  $Y$  – урожайность сухой биомассы, кг/га;

$C$  – калорийность сухой биомассы, кДж.

Усреднено калорийность 1 кг сухой биомассы растений составляет 16760 кДж, а детальные данные по ряду полевых культур представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4  
Калорийность 1 кг сухой биомассы полевых культур, кДж, среднее

Культура	Органы растений			
	целое растение	основная продукция	побочная продукция	корневая система
Пшеница, ячмень, овес и др.	17600	18000	16700	16970
Горох, чина, нут и др.	18800	19600	16750	16750
Люцерна и др. бобовые травы	21750	21750	21750	16750
Житняк и др. злаковые травы	16800	16800	16800	16200
Однолетние травы	17500	17500	17500	16700
Кукуруза и др. силосные культуры	15600	15600	15600	15600
Кормовые корнеплоды	15400	15600	14800	14400

При расчете энергии, запасенной зерновыми культурами, берется в расчет урожай соломы, который можно принимать как соотношение 1,0:0,8-1,0 к урожаю зерна. Если в расчетах учитывается масса корней растений, то в среднем ее можно принимать (в % от надземной массы) – у хлебных злаков и однолетних трав – 20-30%, у многолетних трав – 65-100%.

Из общего количества прихода ФАР посевы сельскохозяйственных культур используют очень небольшую часть. По величине коэффициента использования ФАР все посевы А.А. Ничипорович (1981) разделил на четыре группы:

1. Обычно наблюдаемые – 0,5-1,5%;
2. Хорошие – 1,5-3,0%;
3. Рекордные – 3,5-5,0;
4. Теоретически возможные – 6,0-8,0%.

В производственных условиях Татарстана величина использования ФАР (КПД ФАР) зависит от уровня интенсификации земледелия. В таблице 1.5 А.А. Зиганшиным (2001) приведены расчетные данные урожайности некоторых полевых культур в пределах Татарстана при различных уровнях утилизации ФАР. Например, урожайность зерна озимой ржи при первом уровне интенсификации (использование 1% ФАР) составляет 23 ц с 1 га, втором (1,5%) – 35, третьем (2%) – 46, четвертом (2,5%) – 58, пятом (3%) – 69, шестом (3,5%) – 80 ц с 1 га. Соответствующие расчеты сделаны также применительно к яровой пшенице, гороху, сахарной свекле, люцерне, картофелю.

Таблица 1.5  
Расчетные данные урожайности основной продукции  
некоторых полевых культур (ц/га) при различных уровнях утилизации ФАР  
в условиях Республики Татарстан

Показатели уровня интенсификации	Использование ФАР, %					
	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Озимой ржи (зерно)	23	35	46	58	69	80
Яровой пшеницы (зерно)	18	27	36	45	54	63
Гороха (зерно)	18	27	36	45	54	63
Сахарной свеклы (корнеплоды)	168	252	336	420	504	588
Люцерны за 2 укоса (сено)	68	102	136	170	204	238
Картофеля (клубни)	116	174	232	290	348	406

## 1.4. Методика и приемы расчета урожайности по приходу ФАР

Для выполнения расчета уровня урожайности по приходу ФАР составляется балансовая формула, в которой приходная и расходная часть баланса выглядят следующим образом:

$$Q_{\text{фар}} * K_{\text{фар}} = Y * C * \mathbf{100}, \quad (1.3)$$

где  $Q_{\text{фар}}$  – приход ФАР за период вегетации культуры, кДж/га;

$K_{\text{фар}}$  – коэффициент использования (КПД) ФАР;

$Y$  – урожайность абсолютно сухой биомассы, кг/га;

$C$  – калорийность сухого вещества (кДж/га сухой биомассы).

Приходная часть баланса характеризует поступление ФАР на 1 га за период вегетации культуры в кДж, с учетом ее использования посевами ( $K_{\text{фар}}$ ), расходная часть – количество аккумулированной энергии растениями на 1 га посева ( $Y \cdot C$ ) в кДж.

Для расчета уровня урожайности культуры из баланса, представленного выше, выводится формула:

$$Y = \frac{Q_{\text{фар}} * K_{\text{фар}}}{C * 100} \quad (1.4)$$

Примеры расчета для кукурузы на силос. Исходные данные:  $K_{\text{фар}} = 1\%$ ,  $Q_{\text{фар}} = 15,7$  млрд. кДж/га,  $C = 15600$  кДж/кг. Подставляем исходные данные в формулу и вычисляем итог:

$$Y = \frac{15,9 * 10^9 \text{ кДж/га} * 1\%}{15600 \text{ кДж/га} * 100} = 10192 \text{ кг/га},$$

или 10,19 т/га сухой массы, или 50,9 т/га зеленой массы.

Озимая рожь на зерно. Исходные данные  $K_{\text{фар}} = 2\%$ ,  $Q_{\text{фар}} = 13,4$  млрд. кДж/га,  $C = 17600$  кДж/га. Подставляем исходные данные в формулу и вычисляем итог:

$$Y = \frac{13,4 * 10^9 \text{ кДж/га} * 2\%}{17600 \text{ кДж/га} * 100} = 15227 \text{ кг/га},$$

или 15,2 т/га абсолютно сухой массы. Если на долю корневой системы отвести 30%, на надземную часть останется 10,1 т/га сухой массы, которая при уборочной влажности (14%) составит 11,7 т/га. На долю зерна от надземной (хозяйственной) части приходится 40%, а 60% – на солому, то урожайность озимой ржи при КПД ФАР равной 2% составит 4,68 т/га.

## 1.5. Методика расчета КПД ФАР

Для оценки количества аккумулированной энергии в полученном урожае в сравнение с поступившей возникает необходимость рассчитывать фактический коэффициент использования ФАР ( $K_{\text{ФАР}}$ ) посевами, который определяется по формуле путем преобразования приведенного выше баланса:

$$K_{\text{ФАР}} = \frac{Y*C*100}{Q_{\text{ФАР}}}, \quad (1.5)$$

где  $K_{\text{ФАР}}$  – коэффициент использования ФАР (%);

$Y$  – фактическая урожайность сухой биомассы;

$C$  – калорийность единицы урожая (кДж/га);

$Q_{\text{ФАР}}$  – приход ФАР за период вегетации культуры (кДж/га).

Таким образом, можно дать определение, что коэффициент использования ФАР ( $K_{\text{ФАР}}$ ) представляет из себя отношение количества аккумулированной посевами энергии ( $Y * C$ ) к количеству поступившей на эту площадь ФАР ( $Q_{\text{ФАР}}$ ), выраженное в процентах.

## Глава 2. Оценка биоклиматических показателей региона и возможности возделывания культур

Потенциальные возможности культур могут в полной мере раскрываться лишь при оптимальной обеспеченности их потребности факторами жизнедеятельности, в связи с чем, необходимо знать требования растений к этим факторам и учитывать возможность обеспечения потребности их в конкретных почвенно-климатических условиях региона, т. е. сделать биоклиматическую оценку условий региона, области, района, агроландшафта и т. д. Биоклиматическая оценка проводится по следующим основным параметрам: среднее многолетнее количество выпадающих осадков и их распределение в течение года, сумма средних суточных температур, даты перехода средних суточных температур воздуха через 0, +5, +10°C и продолжительность периода с температурами выше этих порогов, дата первого и последнего заморозков, продолжительность беззаморозкового периода с учетом возможной даты наступления ранних осенних и поздних весенних заморозков, оценка почвы по эффективному плодородию и другим показателям, расчет возможной урожайности и другим. Одновременно оцениваются требования культур разных групп спелости в суммах активных температур при возделывании их на корм и семена, устойчивость к заморозкам в разные фазы вегетации и другие биологические особенности их, то есть, представляется возможность сделать заключение, как может «вписаться» та или иная культура, сорт в конкретные почвенно-климатические условия региона, агроландшафта.

## 2.1. Тепловой режим

Все проявления жизнедеятельности растений возможны только в известных пределах температуры. Источником тепла для растений, как и света, является солнце. Почва поглощает в среднем 43%, излучает обратно 24%. Следовательно, только 19%, или одна пятая часть солнечной энергии, остается в почве, но и это тепло в основном расходуется на испарение воды с почвенной поверхности. В оценку теплового режима входят следующие основные показатели: сумма положительных температур, даты перехода среднесуточных температур через 0, +5, +10, +15°C, даты наступления поздних весенних и ранних осенних заморозков и продолжительность беззаморозкового периода, при этом нужно отметить, какие культуры, сорта могут приспособиться в этот режим. Учет сумм положительных температур ведется от нескольких уровней: 0, +5, +10, +15°C, что связано с биологическими особенностями растений: при переходе среднесуточных температур через 0 °C начинают прорастать семена и идут в рост холодостойкие растения (при положительных температурах +1, +3 °C начинают прорастать семена ячменя, пшеницы, овса, житняка и др.); при температуре +5°C и выше появляются всходы холодостойких культур – овса, ячменя, пшеницы, гороха, кормовых трав – донника, люцерны, эспарцета, житняка, костреца безостого и др.; при температурах выше + 10 °C начинают прорастать семена теплолюбивых культур – сорго, кукурузы, гречихи, проса, суданской травы и др., а риса и хлопчатника – при +14, +15 °C.

Вегетация растений начинается с даты, когда средняя суточная температура устойчиво переходит через 5°C (биологический минимум основных сельскохозяйственных культур умеренных широт). Чем выше температура воздуха, тем динамичнее происходит развитие растений. Повышение температуры оказывает положительное влияние на рост до определенного предела. Для конкретной фазы развития растения различают оптимальные температуры, а также экстремальные, при которых возможны гибель или прекращение вегетации растений. В температурном режиме территории выделяются холодный и теплый периоды и связанные с ними периоды вегетации и покоя растений. Сроки устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C делят на теплый и холодный периоды, а сроки перехода через +5°C приняты за начало и конец вегетационного периода. Весной, в период повышения температуры устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через 0°C (табл. 2.6) отмечается на юге территории 26 марта (ст. Самара). По мере продвижения на север время перехода к положительным значениям средней суточной температуры сдвигается на более поздние сроки, переход через 0°C происходит 1 апреля (ст. Ижевск). Средняя продолжительность периода с устойчивым переходом температуры воздуха через 0°C составляет от 225 дней (Самарская область) до 200 дней (Кировская область). С переходом средней суточной температуры воздуха через 0°C начинается таяние снега и

оттаивание почвы. Температура воздуха динамично повышается. Период до даты перехода через + 5°C на большей части Среднего Поволжья длится 15-20 дней. Устойчивый переход температуры выше + 5°C начинается 11-12 апреля (ст. Самара, Авангард) на юге и 26 апреля на севере (ст. Лальск, Кирс). Продолжительность периода с температурой выше +5°C изменяется от 190 дней в южных районах до 160 дней на севере.

Таблица 2.6  
Средние даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C, +5°C, +10°C, +15°C

Станция	0°C		+5°C		+10°C		+15°C	
	начало	конец	начало	конец	начало	конец	начало	конец
Лальск	06.04.	23.10.	26.04.	01.10.	23.05.	04.09.	15.06.	03.08.
Кирс	05.04.	22.10.	26.04.	29.09.	21.05.	04.09.	13.06.	06.08.
Киров	01.04.	25.10.	21.04.	30.09.	13.05.	13.09.	07.06.	14.08.
Ижевск	01.04.	25.10.	20.04.	03.10.	08.05.	16.09.	04.06.	17.08.
Чебоксары	02.04.	29.10.	18.04.	06.10.	04.05.	20.09.	01.06.	24.08.
Алатырь	30.03.	31.10.	15.04.	09.10.	01.05.	20.09.	29.05.	27.08.
Казань	31.03.	30.10.	16.04.	10.10.	01.05.	21.09.	30.05.	26.08.
Елабуга	29.03.	30.10.	16.04.	10.10.	02.05.	21.09.	29.05.	25.08.
Чистополь	03.04.	29.10.	18.04.	10.10.	04.05.	20.09.	02.06.	25.08.
Чулпаново	01.04.	01.11.	15.04.	09.10.	30.04.	21.09.	28.05.	26.08.
Бугульма	05.04.	26.10.	18.04.	04.10.	04.05.	20.09.	02.06.	23.08.
Ульяновск	27.03.	01.11.	14.04.	12.10.	02.05.	22.09.	26.05.	29.08.
Самара	26.03.	03.11.	11.04.	15.10.	23.04.	27.09.	16.05.	05.09.
Авангард	29.03.	03.11.	12.04.	14.10.	24.04.	27.09.	20.05.	06.09.

С переходом температура воздуха через +10°C начинается активная вегетация растений. Переход через +10°C отмечается 23-24 апреля (ст. Самара, Авангард) и 21-23 мая (ст. Лальск, Кирс). Зональная составляющая дат перехода составляет 25-30 дней. Продолжительность периода активной вегетации растений изменяется от 100 дней на севере до 160 дней на юге Среднего Поволжья. Изменчивость дат перехода через +10°C достигает 10-15 дней.

Сумма положительных температур в Татарстане составляет 2400-2600 градусов, сумма температур выше 5° – 2300-2500, выше 10° – 2100-2250, выше 15° – 1400-1600 градусов. Для большинства растений при достаточном освещении и удовлетворительном обеспечении водой повышение температуры воздуха в пределах 15-30° влияет благоприятно. Для хорошего роста корней температура почвы должна быть несколько ниже, чем температура воздуха для роста надземной части растений. Однако разрыв в показателях температуры почвы и воздуха не должен быть слишком большим. Снижение температуры почвы за пределы оптимальной оказывается на поглощении корневой системой питательных веществ. Сильнее всего это проявляется на азоте, затем снижается усвоение фосфора и кальция.

Потребность растений в тепле, выраженная суммой активных температур, рассчитана в настоящее время для всех культурных растений. В зависимости от скороспелости сорта, она находится в пределах 900-1300°C для льна, 1300-1700°C для яровой и озимой пшеницы, 2200-3000°C для кукурузы, 1850-2300°C для подсолнечника (табл. 2.7).

Таблица 2.7  
Потребность сельскохозяйственных культур в тепле  
за вегетационный период для широты 55 °C

Культура	Группа спелости, сорта, гибрида	Сумма активных температур, °C
Яровая пшеница (мягкая)	раннеспелый	1300-1400
	среднеспелый	1300-1500
	позднеспелый	1450-1700
Яровая пшеница (твёрдая)	среднеранний	1400-1500
	среднеспелый	1500-1600
	позднеспелый	1600-1700
Ячмень	раннеспелый	950-1250
	среднеспелый	1200-1350
	позднеспелый	1300-1450
Овес	раннеспелый	1000-1250
	среднеспелый	1250-1450
	позднеспелый	1400-1550
Прямоцветковые злаки	раннеспелый	1400-1570
	среднеспелый	1600-1675
	позднеспелый	1700-1875
Гречиха	раннеспелый	1200
	среднеспелый	1300

	позднеспелый	1400
Кукуруза	раннеспелый	2200
	среднеспелый	2600
	позднеспелый	2900-3000
Сорго	раннеспелый	2000-2200
	среднеспелый	2500
	позднеспелый	3000
Подсолнечник	раннеспелый	1850
	среднеспелый	2000
	позднеспелый	2300
Картофель	раннеспелый	1000
	среднеспелый	1500
	позднеспелый	2000
Соя	наиболее раннеспелый	1700-1900
	среднеспелый	2500-2800
	позднеспелый	3000-3200

Потребность в сумме активных температур (для хлебных злаков 1-й группы – выше (+5°C) в зависимости от группы спелости сорта колеблется от 950 до 1700°, а для теплолюбивых культур, у которых отсчет суммы активных температур идет от +10°C – 2200-3000°.

Таблица 2.8  
Потребность кормовых трав в тепле за вегетационный период при выращивании на корм и семена

Культура	Сумма активных температур при выращивании	
	на корм	на семена
Люцерна	800-890	1200-1500
Эспарцет	650-800	1100-1200
Донник	750-900	1200-1400
Житняк	700-750	1200-1300
Кострец безостый	800-900	1200-1400
Суданская трава	1100-1200	1800-2200
Могар	1100-1200	1600-1800
Рапс	500-600	950-1100

У многолетних трав при выращивании на корм для достижения фазы укосной спелости (фаза выметывания или выколаивания, бутонизации, цветения) требуется сумма активных температур (выше +5°C) от 700 до 900 °C, для достижения фазы спелости семян 1100-1500 °C, однолетних трав

(могар, суданская трава) соответственно 1100-1200 °С и 1600-1800°С (табл. 2.8). С повышением уровня урожаев потребности культур в тепле, возможно, несколько возрастут, но и тогда тепловых ресурсов в зоне для основных культур будет вполне достаточно.

Таким образом, сопоставив потребность в тепле культур, сортов, гибридов разных групп спелости и обеспеченность этим фактором заданного пункта, с учетом дат перехода суточных температур через 0, +5, +10, +15 °С и продолжительности периода с этими температурами, можно оценить возможности возделывания этих культур, сортов в условиях конкретного региона.

Период вегетации культур, особенно теплолюбивых, в том или ином, регионе ограничивается не только обеспеченностью суммой активных температур, но и продолжительностью периода без заморозков, что вносит существенные поправки в продолжительность вегетационного периода, а также нередко в производственных условиях приводит к повреждению посевов и даже их гибели в весенний и позднелетний периоды.

Среднее многолетнее число дней с заморозками в воздухе на территории Среднего Поволжья меняется от 15 до 42 дней. Наибольшее количество заморозков отмечается в апреле (7-15 дней) и в октябре (7-12 дней). В мае и сентябре заморозков меньше (1-10 дней), в июне и августе заморозки отмечаются только в северной части Среднего Поволжья. В целом можно отметить хорошо выраженное широтное изменение повторяемости заморозков: с севера на юг наблюдается заметное уменьшение дней с заморозками. На возникновение заморозков большое влияние оказывают рельеф и характер подстилающей поверхности. Так, на территории республики Чувашия и западных районов Татарстана наблюдается локальный минимум повторяемости заморозков (16-20 дней), что объясняется отепляющим влиянием р. Волга и Куйбышевского водохранилища. В западных районах Ульяновской области выделяется локальный максимум повторяемости заморозков (28-31 дней) на станциях Сурское, Инза, Канадей, которые расположены в узких долинах малых рек (Сура, Инза и Сызрань) на Приволжской возвышенности, что способствует стеканию холодного воздуха со склонов, его застою и радиационному выхолаживанию в ночное время. Определенную ценность для сельскохозяйственного производства имеют даты последнего заморозка весной, первого заморозка осенью и продолжительность безморозного периода (табл. 2.9).

Таблица 2.9

Даты первого и последнего заморозка и продолжительность безморозного периода

Станции	Первый заморозок осенью		Последний заморозок весной		Средняя продолжительность безморозного периода (дни)
	средняя дата	самая ранняя	средняя дата	самая поздняя	
Лальск	05.09	07.07.91	27.05	21.06.83	102
Кирс	09.09	22.07.97	23.05	16.06.69	109
Киров	26.09	09.09.94	12.05	05.06.79	137
Кильмезь	29.09	31.08.97	10.05	06.06.92	141
Глазов	15.09	19.08.78	20.05	16.06.69	119
Ижевск	20.09	26.08.86	09.05	06.06.92	144
Морки	23.09	28.08.83	12.05	10.06.82	133
Чебоксары	02.10	07.09.68	25.04	02.06.67	160
Алатырь	02.10	16.09.95	38.04	04.06.78	157
Казань	03.10	11.09.68	24.04	27.05.71	161
Елабуга	30.09	10.09.94	27.04	05.06.85	156
Чистополь	04.10	15.09.95	28.04	05.06.85	158
Чулпаново	18.09	15.08.69	12.05	04.06.03	129
Бугульма	23.09	15.08.69	14.05	05.06.92	132
Ульяновск	26.09	28.08.83	04.05	06.06.79	145
Канадей	23.09	03.09.94	10.05	04.06.78	136
Серноводск	27.09	03.09.94	06.05	03.06.67	144
Самара	06.10	17.09.95	23.04	03.06.67	166
Авангард	23.09	31.08.76	11.05	06.06.95	134

Средняя дата последнего заморозка весной на севере приходится на 14-27 мая, в центре – 24 апреля - 17 мая, на юге – 22 апреля - 14 мая. Самые поздние весенние заморозки отмечались в северных районах Кировской и Удмуртской областях (15-21 июня), на остальной территории заморозки полностью прекращаются в первой декаде июня (3-10 июня). Осенью разброс в средних датах первого заморозка так же значителен.

Таким образом, наименьшая средняя продолжительность безморозного периода отмечается в Кировской области – ст. Лальск (102 дня) и Кирс (109 дней), наибольшая продолжительность безморозного периода наблюдается на территории Чувашии и Татарстана (160-163 дней) и Самарской области (166-170 дней).

Таблица 2.10

Устойчивость сельскохозяйственных культур к заморозкам в разные фазы вегетации, в °С (над уровнем растений)

Культуры	Начало повреждения и частичная гибель растений в фазе			Гибель большинства растений в фазе		
	всходов	цветения	созревания (молочная спелость)	всходов	цветения	созревания (молочная спелость)
Наиболее устойчивые						
Яровая пшеница	-9-10	-1-2	-2-4	-10-12	-2	-4
Овес, ячмень	-8-9	-1-2	-2-4	-10-12	-2	-4
Горох, чина	-7-8	-2-3	-2-3	-8-10	-3	-4
Люцерна	-5-9			-8-10		
Эспарцет, донник	-10-12			-12-14		
Житняк, кострец безостый, пырей	-18-20			-20		
Устойчивые						
Вика яровая	-6-7	-3	-2-4	-8	-3-4	-4
Нут	-6-7	-2-3	-2-3	-8	-3	-3-4
Подсолнечник	-5-7	-3	-2-3	-7-8	-3	-3
Сафлор	-6-7	-2-3	-3-4	-8	-3	-4
Горчица белая	-6-7	-2-3	-3	-8	-3	-4
Свекла сахарная	-6-7	-2-3	-	-8	-3	-
Среднеустойчивые						
Соя	-3-4	-2	-2-3	-4	-2	-3
Малоустойчивые						
Кукуруза, просо, суданская трава, сорго, могар	-2-3	-1-2	-2-3	-3	-2	-3
Неустойчивые						
Гречиха	-1-2	-1	-1,5	-2	-1	-2
Хлопчатник	-0,5-1	-0,5-1	-1	-1	-1	-1-2
Рис	-0,5-1	-0,5	-	-1	-0,5	-

Устойчивость сельскохозяйственных культур к заморозкам при падении температуры ниже 0 °С на поверхности почвы и растений, наблюдаемая в вегетационный период при положительных среднесуточных температурах воздуха, зависит от биологических особенностей и фазы вегетации растений: в фазу всходов они наиболее устойчивы, а наименьшую устойчивость имеют в период формирования генеративных органов, цветения, плодоношения, налива. По этому показателю все сельскохозяйственные культуры делятся на

5 групп: наиболее устойчивые, устойчивые, среднеустойчивые, малоустойчивые и неустойчивые (табл. 2.10).

Даты перехода среднесуточных температур через 0, +5, +10, +15 °C, а также устойчивость растений к заморозкам следует учитывать и при определении сроков посева культур: семена холодостойких культур: люцерны, донника, эспарцета, житняка, костреца безостого, пшеницы, овса, ячменя, гороха, нута, чины начинают прорастать при температурах +2, +3 °C, а при +5, +6 °C можно получить всходы, теплолюбивые кукуруза, сорго, просо, суданская трава, могар, чумиза, соя, гречиха – при +8, +10 °C, рис и хлопчатник – от +10 до +15 °C, а минимальные среднесуточные температуры почвы на глубине заделки семян должны быть не менее +10-12 °C, для риса, хлопчатника – +14-15 и +16-18 °C (табл. 2.11).

Таблица 2.11  
Оптимальная среднесуточная температура почвы  
для посева теплолюбивых культур, °C

Культуры	Начальная температура прорастания семян	Среднесуточная температура почвы на глубине заделки семян, при которой целесообразен посев
Кукуруза, просо, сорго, суданская трава, могар, чумиза	+8, +10	+10, +12
Рис	+10, +13	+10, +13
Гречиха	+5, +8	+10, +12
Соя	+8, +10	+10, +12
Хлопчатник	+10, +15	+16, +18

## 2.2. Условия увлажнения

В отличие от света и тепла на большей части территории нашей страны осадков выпадает недостаточно и распределяются они неравномерно по времени. Это вызывает явления засухи, снижает урожай, а в отдельные годы (2010) приводит к полной гибели посевов на значительных площадях. Бесперебойное снабжение растений потребным количеством воды является одной из наиболее важных задач в сельском хозяйстве.

В центральной части Среднего Поволжья, где располагаются три субъекта РФ Республика Марий-Эл, Республика Чувашия и Татарстан, количество осадков по сравнению с северной частью существенно меньше. Так средние годовые суммы атмосферных осадков составляют на указанных

территориях соответственно 520 мм, 510 мм и 505 мм, т.е. в среднем также убывают с северо-запада на юго-восток. В районе Казань – Лаишево количество годовых осадков несколько повышается до значений 550-560 мм. Некоторое увеличение годовых сумм осадков (до 530 мм), в основном под влиянием рельефа Бугульминско-Белебеевской возвышенности, наблюдается на крайнем юго-востоке центральной части Среднего Поволжья. Далее на юг суммы осадков продолжают убывать. В Ульяновской и Самарской областях среднее годовое количество составляет 500 мм (табл. 2.12).

Таблица 2.12  
Среднее многолетнее количество осадков и распределение по месяцам теплого периода по ряду пунктов Среднего Поволжья, мм

Пункты	Годовое кол-во осадков	В том числе за теплый период	Из них по месяцам						
			IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Ла́льск	612	411	37	50	66	77	67	55	59
Кирс	632	438	35	57	78	74	69	63	63
Киров	650	433	35	55	67	76	71	64	65
Кильмезь	554	403	34	39	66	77	68	61	57
Глазов	570	411	32	46	74	72	61	63	62
Ижевск	522	367	29	43	61	64	63	53	54
Морки	515	357	33	40	61	68	56	50	50
Чебоксары	542	384	33	42	69	64	60	58	58
Алатырь	487	331	30	37	58	63	50	48	46
Казань	548	369	33	38	67	66	58	52	54
Елабуга	552	378	32	46	57	66	61	60	57
Чистополь	500	349	29	41	58	57	57	52	54
Чулпаново	491	344	29	37	71	52	53	50	51
Бугульма	527	384	26	44	73	68	58	58	57
Ульяновск	474	342	30	37	66	66	49	52	42
Канадей	426	305	28	36	59	59	46	42	36
Серноводск	457	301	26	31	59	50	43	45	47
Самара	558	336	38	36	58	58	48	44	54
Авангард	386	258	25	32	53	40	33	36	38

Представленные в таблице средние многолетние данные по количеству выпадающих осадков по периодам и месяцам года дают возможность оценить условия влагообеспеченности той или иной культуры в течение вегетационного периода. Годовое количество осадков в Республике Татарстан составляет в пределах 491-552 мм. Велики здесь испарение, сток и

другие потери, в результате ранние яровые культуры, например, используют лишь 40-45% осадков. Сумма эффективных осадков для этой группы культур складывается из дождей в мае, июне и июле. Из них примерно 30 % уходит на сток и испарение, а к осадкам мая и июня делают еще поправку на засушливость года, умножив их на 0,6. В результате величина эффективной влаги выпавших осадков в период вегетации растений понижается. Но ранние яровые культуры, как и все растения, используют, кроме того, влагу осенне-зимне-весенних запасов почвы в количестве 70-90 мм. Сведения о средних многолетних суммах атмосферных осадков можно использовать, пользуясь метеорологическими данными конкретных гидрометеорологических станций (ГМС) расположенных близко к конкретному агроландшафту (табл. 2.13).

Таблица 2.13  
Среднее количество осадков по ГМС Республики Татарстан, мм

Месяцы	Арск	Казань	Мензелинск	Тетюши	Чистополь	Чулпаново	Бугульма
Январь	26	36	21	29	32	30	30
Февраль	20	32	16	26	26	25	23
Март	24	27	18	29	21	21	19
Апрель	24	33	22	29	29	29	26
Май	33	38	40	39	41	37	44
Июнь	51	67	50	49	58	71	73
Июль	52	66	65	58	57	52	68
Август	51	58	53	53	57	53	58
Сентябрь	45	52	47	49	52	50	58
Октябрь	45	54	43	49	54	51	57
Ноябрь	35	45	31	39	41	39	40
Декабрь	30	38	26	37	32	32	30

Эти показатели позволяют сделать заключение, что растениеводческие отрасли относительно успешно можно развивать в лесостепной зоне Среднего Поволжья, а также в Республике Татарстан.

### 2.3. Гидротермический коэффициент

Важным условием для развития растений является влага, которая поступает к ним в виде атмосферных осадков и содержится в почве. В агрометеорологии для характеристики условий увлажнения среды принято использовать комплексные характеристики, которые учитывают не только осадки, но и испарение. Наиболее известным из них является гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова:

$$\text{ГТК} = \frac{\Sigma R}{0,1\Sigma t^o > 10}, \quad (2.6)$$

который определяется отношением суммы осадков ( $\Sigma R$ ) в мм за период со среднесуточными температурами воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$  к сумме температур ( $\Sigma t^o$ ) за тот же период, уменьшенной в 10 раз.

При  $\text{ГТК} \leq 0,8$  возникает засуха, при  $\text{ГТК} < 0,4$  – очень сильная засуха. Индекс увлажнения  $K_{ii}$ , предложенный Д.Н. Шашко, определяется по формуле:

$$K_{ii} = \Sigma R / \Sigma d, \quad (2.7)$$

где  $\Sigma R$  – сумма осадков в мм,  $\Sigma d$  – сумма дефицитов упругости водяного пара, выраженная в гПа.

Показатель увлажнения  $\Pi_y$  по М.И. Будыко получен с учетом теплобалансовых измерений:

$$\Pi_y = \Sigma R / 0,18\Sigma t^o C, \quad (2.8)$$

где  $\Sigma R$  и  $\Sigma t^o C$  – соответственно, суммы осадков в мм и активных температур за год в  $^{\circ}\text{C}$ .

Важное значение имеет понятие биоклиматической продуктивности растительного покрова, которая оценивается по формуле Д.И. Шашко:

$$N_{бкп} = K_{бп} \frac{\Sigma t^o > 10}{1000^{\circ}}, \quad (2.9)$$

где  $K_{бп}$  – коэффициент биологической продуктивности растений, зависящий от показателя скорости испарения  $M_c$ , определяемой по формуле:

$$M_c = F_c / \Sigma d, \quad (2.10)$$

где  $F_c$  – суммарное испарение,  $\Sigma d$  – сумма дефицитов влажности воздуха.

В таблице 2.14 представлена зависимость величины  $K_{бп}$  от показателя скорости испарения  $M_c$ .

Таблица 2.14

Соотношения значений скорости испарения ( $M_{Sc}$ )  
и коэффициента биологической продуктивности ( $K_{БП}$ )

$M_{Sc}$	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
$K_{БП}$	0,19	0,41	0,57	0,69	0,79	0,86	0,92	0,97	1,00

Биоклиматическая продуктивность культур характеризуется как пониженная при  $H_{БП} < 1,5$ ; средняя – при 1,5-2,0 и повышенная – при  $H_{БП} > 2,0$ .

Тепло и влага являются основными факторами продуктивности сельскохозяйственных культур. Так, влагообеспеченность территории является одним из важнейших факторов, характеризующих агрометеорологические (агроклиматические) условия возделывания, произрастания и формирования продуктивности сельскохозяйственных культур. Она характеризуется исключительной изменчивостью во времени и пространстве, что в значительной мере обуславливает колебания агроклиматических ресурсов и всего сельскохозяйственного потенциала территории. Гидротермический коэффициент (ГТК) используется при сельскохозяйственной оценке климата для выделения зон с различной влагообеспеченностью сельскохозяйственных культур: чем ниже ГТК, тем засушливее регион, а показатель ГТК менее единицы уже свидетельствует о засушливости климата. ГТК может рассчитываться и для отдельного отрезка вегетационного периода, что позволяет дать оценку степени увлажнения посевов:

- ГТК = 0,4 – признак очень сильной засухи;
- ГТК = 0,4-0,5 – сильной;
- ГТК = 0,6 – признак средней засухи.

По обеспеченности влагой территория Республики Татарстан делится на три зоны.

1 зона – Предкамье (количество осадков за вегетационный период в пределах 245-265 мм; ГТК превышает единицу).

2 зона – Предволжье, Юго-Восточная и Восточная части Закамья (ГТК = 1, 220-230 мм осадков).

3 зона – Западное Закамье (210-220 мм осадков; ГТК меньше единицы).

Условия увлажнения лесостепной и степной зон позволяют выращивать яровые зерновые культуры: пшеницу мягкую и твердую, ячмень, овес, просо, гречиху; зернобобовые – горох, чину, нут; масличные – лен масличный, подсолнечник, рапс и др.; кормовые многолетние травы – люцерну, кострец безостый (в северной части региона), эспарцет, житняк (в южной части региона), донник и др.; однолетние травы – вику (северная часть региона), суданскую траву, могар, чумизу, просо кормовое (в южной части региона); силосные культуры – кукурузу, подсолнечник, сорго и др.

## **Контрольные вопросы**

1. Что входит в понятие «биоклиматические показатели» и биоклиматический потенциал сельскохозяйственных культур, сортов?
2. Каковы средние даты перехода среднесуточных температур через 0, +5, +10, +15 °C в разных зонах Республики Татарстан и какова сумма температур вышеуказанного уровня?
3. Какова потребность в тепле основных сельскохозяйственных культур разных групп спелости и их обеспеченность теплом за вегетационный период в разных производственных зонах Республики Татарстан?
4. Каковы средние даты наступления возможных поздних весенних и ранних осенних заморозков, продолжительность безморозного периода в разных зонах республики?
5. Какова устойчивость к заморозкам основных групп сельскохозяйственных культур в разные фазы вегетации?
6. Какова общая оценка по основным параметрам биоклиматического потенциала агропроизводственных зон Республики Татарстана и возможности возделывания в них сельскохозяйственных культур и сортов разных групп спелости?
7. Что характеризует ГТК? Какова методика его расчета по Г.Т. Селянинову?
8. Каково практическое значение оценки биоклиматических показателей?

## Глава 3. Влагообеспеченность посевов сельскохозяйственных культур и определение действительно возможной урожайности

### 3.1. Классификация видов урожайности

При программировании урожаев выделяют три вида урожайности – потенциальная, действительно возможная и производственная.

Потенциальная урожайность (ПУ) – урожайность, которая может быть получена в идеальных метеорологических условиях при обеспеченности посевов необходимым количеством тепла и влаги, с учетом биологических особенностей культуры, вида, сорта, уровня агротехники, прихода ФАР и др., которая является величиной непостоянной и возрастает при совершенствовании технологии возделывания культуры, применении лучших сортов и гибридов, обеспечении баланса питательных веществ и влаги в соответствии с заданным КПД ФАР и др.

Действительно, возможная урожайность (ДВУ) теоретически может быть обеспечена генетическим потенциалом сорта или гибрида и лимитирующими нерегулируемыми факторами, которые в разных почвенно-климатических зонах ограничивают уровень урожайности сельскохозяйственных культур: влагообеспеченность посевов, обеспеченность углекислотой, необходимой для фотосинтеза, плодородие почвы, реакция почвенной среды, воздушный и тепловой режимы, приход ФАР, уровень агротехники и ряд других с учетом лимитирующего фактора, основываясь на законе минимума. В условиях Республики Татарстан нерегулируемым (лимитирующим) фактором, находящимся в первом минимуме, является влага, которая ограничивает ДВУ.

Урожайность, получаемая в производственных условиях (фактическая) (УП) это один из важнейших показателей хозяйственной деятельности сельскохозяйственного предприятия, характеризующий, соблюдение агротехнологий и насколько в течение вегетационного периода удовлетворялась потребность растений в факторах внешней среды.

В условиях Западного Закамья Республики Татарстан ПУ, даже при КПД ФАР = 2% может достигать до 10,2 т/га сухой массы надземной части озимых культур или до 4,6-5,0 т/га зерна; ДВУ по лимитирующему фактору – влаге, может быть, 5,4-6,5 и 2,5-3 т/га, соответственно; УП в зависимости от уровня технологии возделывания культуры может снижаться до 3,2-4,3 т/га надземной массы и до 1,5-2 т/га зерна, но возможно и ниже.

### 3.2. Показатели, характеризующие отношение полевых культур к влаге

Потребность растений (посевов) во влаге характеризуется тремя основными показателями: транспирационным коэффициентом, коэффициентом водопотребления и суммарным водопотреблением.

Транспирационный коэффициент свидетельствует о количестве единиц воды, необходимых растению на транспирацию для создания одной единицы сухого вещества, т.е. на испарение с поверхности листьев, растений. Транспирация это процесс, который выполняет роль терморегулятора растений и предохраняет их от перегревания и гибели, способствует всасыванию воды корнями, передвижению минеральных питательных веществ – азота, фосфора, калия и микроэлементов, взятых из почвы, по всему растению. Средние значения транспирационных коэффициентов по ряду наиболее распространенных сельскохозяйственных культур следующие: пшеница – 450-550, ячмень – 300-450, овес – 400-550, горох – 400-450, кукуруза – 300-450, сорго – 150-200, люцерна – 700-900, эспарцет песчаный – 300-350, житняк – 400-600, суданская трава – 300-400, которые, характеризуют относительную засухоустойчивость растений, а еще, свидетельствуют о количестве единиц воды, затрачиваемых растением на транспирацию и создание одной единицы сухого вещества. Сопоставив значения транспирационных коэффициентов можно сделать заключение, что ячмень более засухоустойчив, чем пшеница, самой засухоустойчивой культурой можно назвать сорго, наиболее требовательной к влаге – люцерну и т.д. В тоже время эти показатели трудно использовать в балансовых расчетах воды, поскольку в полевых условиях почвенная влага расходуется не только на транспирацию растений, но и испарение с каждой единицы площади посева (почвенной поверхности), поэтому для расчетов применяется другой показатель – коэффициент водопотребления.

Коэффициент водопотребления ( $K_B$ ) характеризует суммарные затраты воды на транспирацию растений и на испарение ее с поверхности почвы (в  $m^3$ , мм) для создания одной единицы растениеводческой продукции (кг, ц, т) – зерна, сухой массы.

Суммарное водопотребление ( $C_B$ ) - показатель, характеризующий затраты воды на транспирацию растений и испарение с поверхности почвы для формирования урожая с единицы площади (с 1  $m^2$ , га), выраженное в  $m^3$ , мм влаги. Расход на транспирацию в зависимости от условий может достигать 20-50% от общего суммарного расхода влаги, то есть непроизводительные потери влаги, связанные с испарением с поверхности почвы, могут достигать 50-80%, в связи с чем одна из важнейших задач прогрессивных технологий – сокращение непроизводительных потерь воды из-за испарения с поверхности почвы. Коэффициент водопотребления ( $K_B$ ) в математическом выражении представляет из себя отношение общих затрат воды с единицы площади ( $C_B$ ) к полученной урожайности с той же площади (сухого вещества или зерна) и представляется в виде формулы:

$$K_B = \frac{C_B}{Y_{CB}}, \quad (3.11)$$

где  $C_B$  – суммарное водопотребление (мм/га,  $m^3/га$ );

$Y_{CB}$  – урожайность сухого вещества, зерна (ц/га, т/га).

В Республике Татарстан даже самые лучшие земледельческие районы характеризуются недостаточным уровнем влагообеспеченности, поскольку среднее многолетнее количество осадков за вегетационный период не превышает 210-265 мм и определяет в конечном итоге действительно возможный уровень урожайности, поэтому изучение приемов улучшения и регулирования влагообеспеченности растений является одной из важных задач.

### 3.3. Методы расчета ДВУ

Расчет ДВУ по влагообеспеченности, применяемый при программировании урожайности, был предложен А.М. Алпатьевым (1961) и основан на балансе, одна часть которого (приходная) – суммарное водопотребление ( $C_{нв}$ ), или суммарное поступление влаги ( $C_{пв}$ ), вторая (расходная) – затраты воды на формирование урожая на единице площади:

$$C_{нв} = \text{ДВУ} * K_{\theta}, \quad (3.12)$$

где  $C_{нв}$  – суммарное поступление влаги (запасы влаги в метровом слое почвы перед посевом плюс осадки за период вегетации культуры),  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $K_{\theta}$  – коэффициент водопотребления,  $\text{м}^3/\text{т}$  продукции (сухое вещество, зерно). Приходная часть баланса (суммарное водопотребление, или суммарное поступление влаги) может рассчитываться двумя методами – на основании определения фактических запасов продуктивной влаги и через среднее многолетнее количество осадков.

Первый метод целесообразно применять при расчете ДВУ однолетних культур и в тех случаях, когда известны запасы влаги в почве, поскольку он основан на учете фактических запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы перед посевом культуры (в  $\text{мм}$ ,  $\text{м}^3$ ), к которым складывается ожидаемое (вероятное) количество влаги за счет выпадающих осадков в течение вегетационного периода этой культуры (по средним многолетним данным метеостанции) и вычитается примерное количество остаточной влаги, т.е.

$$B_n + B_o - B_{ост}, \quad (3.13)$$

$B_{ост}$  (остаточная влага) – количество продуктивной влаги ( $\text{мм}$ ,  $\text{м}^3$  на ед. площади), не использованное посевами до фазы созревания (уборки) культуры, которые во многом зависят от последних сроков выпавших осадков до наступления уборки или фазы полной спелости. Этот показатель ( $B_{ост}$ ) в неполивном земледелии в зависимости от биологических особенностей культуры и распределения осадков в течение вегетационного периода может колебаться от 0 до 10-20  $\text{мм}$ , а при орошении уровень должен быть достаточно высоким, чтобы посевы не испытывали дефицита влаги не

только до уборки, но и до конца теплого периода (у многолетних трав) и быть на уровне 40-80 мм/га (400-800 м<sup>3</sup>/га).

Все показатели, рассмотренные выше, можно представить в виде уравнения:

$$C_{nv} = B_n + B_o - B_{ost}, \quad (3.14)$$

где  $C_{nv}$  – суммарное поступление влаги, м<sup>3</sup>/га;

$B_n$  – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы, мм или м<sup>3</sup>/га.

$B_o$  – ожидаемое суммарное количество осадков за вегетационный период соответствующей культуры, мм или м<sup>3</sup>/га.

$B_{ost}$  – остаточная влага – неиспользованное количество продуктивной влаги, оставшееся после созревания или уборки посевов, мм или м<sup>3</sup>/га.

Приходная и расходная часть баланса в развернутом виде будет выглядеть так:

$$\Delta V * K_v = B_n + B_o - B_{ost}. \quad (3.15)$$

При орошении в приходную часть добавляется дополнительно показатель «коросительная влага» ( $B_{op}$ ), а баланс приобретает следующий вид:

$$\Delta V * K_v = B_n + B_o + B_{op} - B_{ost}. \quad (3.16)$$

Запасы остаточной влаги не должны быть ниже в орошающем земледелии минимального уровня (40-80 мм) в метровом слое почвы.

Второй метод целесообразно применять для расчета ДВУ многолетних культур, а также в тех случаях, когда запасы продуктивной влаги перед посевом однолетних культур не определялись. Он основан на учете среднего многолетнего количества осадков (СМКО) по данному пункту за минусом потерь воды на испарение с поверхности поля ( $\Pi$ ) в период, когда оно не занято посевами, или в период, когда многолетние культуры или озимые не произрастают (осень, зима, ранняя весна), т.е. приходная часть баланса будет выглядеть так:  $CMKO - \Pi - B_{ost}$ , а баланс приобретет следующий вид:

$$\Delta V * K = CMKO - \Pi - B_{ost}, \quad (3.17)$$

где,  $CMKO$  – среднее многолетнее количество осадков по рассматриваемому пункту за год, мм;

$\Pi$  – потери воды на испарение в период, когда культуры не произрастают или поле не занято посевами вовсе, мм.

На основании проведенных исследований можно принять, что потери влаги ( $\Pi$ ) могут достигать в среднем 30-35% от годового количества выпадающих осадков. В этом случае методика расчета будет упрощена: взяв  $\Pi=30$  и принимая во внимание, что  $\Pi = CMKO \cdot 0,3$ , суммарное поступление

влаги будет соответствовать  $CMK \cdot 0,7$ . Балансовую формулу в упрощенном виде можно представить так:

$$ДВУ * K_B = CMKO * 0,7 - Вост. \quad (3.18)$$

При проведении расчетов следует переводить все показатели в единые единицы измерения (удобнее в  $\text{м}^3/\text{га}$  или  $\text{т}/\text{га}$ ). Для перевода мм продуктивной влаги в  $\text{м}^3/\text{га}$  применяется коэффициент 10, поскольку один мм продуктивной влаги в метровом слое почвы или каждый мм выпавших осадков соответствует  $10 \text{ м}^3$  воды на 1 га.

Первый метод расчета ДВУ по влагообеспеченности целесообразно применять для группы однолетних культур, поскольку фактические запасы продуктивной влаги можно определить перед посевом культуры, а урожайность их сформируется в текущем году. Многолетние травы в первый год жизни (год посева) хозяйственно полезного урожая не дают, а достигают полного развития и формируют максимальный уровень урожайности на втором-третьем и последующих годах жизни в зависимости от конкретной культуры, а потому трудно предугадать, как будут складываться запасы продуктивной влаги в почве в эти последующие годы, поэтому средние многолетние данные по количеству осадков будут более полно соответствовать поступлению влаги на формирование урожая.

На основании фактически сложившейся влагообеспеченности в конкретных условиях запасы продуктивной влаги перед посевом или началом вегетации, количество ожидаемых осадков за период вегетации культуры и остаточной влаги рассчитывается ДВУ по формулам, выведенным из приведенных выше балансов:

- для однолетних культур:

$$ДВУ = \frac{Bn + Bo - Вост}{K_B}, \quad (3.19)$$

- для многолетних (или для однолетних, когда запасы продуктивной влаги неизвестны):

$$ДВУ = \frac{CMKO * 0,7 - Вост}{K_B}, \quad (3.20)$$

При решении задач все единицы измерения (мм,  $\text{м}^3$  и др.) следует приводить в единой системе: коэффициент водопотребления, стоящий в знаменателе формулы, приводится в  $\text{м}^3/\text{т}$  продукции, следовательно, и показатели суммарного водопотребления (числитель) следует переводить из мм в  $\text{м}^3$  воды на гектаре умножением на 10, а расчетные формулы, если в числителе  $Bn$ ,  $Bo$ ,  $Вост$  и  $CMKO$  будут проставлены в мм, преобразуются в следующую форму:

$$ДВУ = \frac{(Bn+Bo-Bocm)*10}{K_B}, \quad (3.21)$$

или

$$ДВУ = \frac{(СМКО*0,7-Вост)*10}{K_B}. \quad (3.22)$$

### 3.4. Методика расчета коэффициентов водопотребления сельскохозяйственных культур

Расчеты коэффициентов водопотребления ( $K_B$ ) осуществляются по формулам, выведенным из приведенных выше балансов:

1) для однолетних культур:

$$K_B = \frac{Bп+Bo-Вост}{Y}, \quad (3.23)$$

2) для многолетних трав:

$$K_B = \frac{СМКО*0,7-Вост}{Y}, \quad (3.24)$$

где  $Y$  – фактически полученная в опытах или производственных условиях урожайность, т/га. На основании экспериментальных материалов, полученных в полевых опытах, были рассчитаны коэффициенты водопотребления по ряду культур, которые представлены в таблице 3.15.

Методика расчетов основывается на балансовом методе А.М. Алпатьева (1961). Этими коэффициентами можно воспользоваться при определении ДВУ по влагообеспеченности, но следует учитывать ряд особенностей при использовании рекомендуемых справочных материалов. Величина коэффициента водопотребления у одной и той же культуры, сорта может колебаться в большом диапазоне, что зависит от уровня агротехники: чем выше уровень агротехники и обеспеченность растений всеми факторами внешней среды, тем экономнее будет использоваться влага культурой на создание единицы продукции. При низком уровне агротехники в хозяйстве значение коэффициентов водопотребления достигает максимальных значений, то есть при одних и тех же суммарных затратах влаги за вегетационный период уровень урожайности может резко различаться, что свидетельствует о необходимости применения таких технологий возделывания культур, которые способствуют сохранению, накоплению и экономному использованию влаги.

Таблица 3.15

Средние значения коэффициентов водопотребления полевых культур

Культура	Продукция	Коэффициент водопотребления, м <sup>3</sup> /т	
		Без орошения при средней влагообеспеченности	При орошении и хорошей влагообеспеченности
Рожь озимая	зерно	700-1100	-
Пшеница озимая	-«-	800-1200	800-1000
Пшеница яровая	-«-	900-1400	900-1200
Ячмень	-«-	900-1350	-
Овес	-«-	900-1300	-
Горох	-«-	1300-1400	1100-1200
Гречиха	-«-	1400-1600	1200-1300
Просо	-«-	1100-1300	1000-1100
Кукуруза на зерно	-«-	650-900	500-600
Подсолнечник	-«-	1600-2050	-
Сахарная свекла	корнеплоды	100-130	70-140
Картофель	клубни	190-300	150-170
Кукуруза на силос	зеленая мас.	100-200	80-90
Люцерна на корм	сухая масса	800-1200	350-850
Кострец безостый	-«-	600-1000	300-700

Величина коэффициента водопотребления зависит и от уровня увлажнения: в засушливые годы затраты на единицу продукции возрастают на 20-25% в сравнении со средними по влагообеспеченности годами, и наоборот, в годы достаточной влагообеспеченности – на 15-20% ниже, чем в средние годы, в южной части региона в степной черноземной зоне коэффициент водопотребления также выше, чем в лесостепной зоне. Этот показатель снижается при совпадении критического периода растений по отношению к влаге с летним максимумом выпадающих осадков, а фактическая урожайность может быть выше расчетной. В годы, когда за июнь – начало июля выпадает осадков меньше нормы – коэффициент водопотребления существенно повышается, а урожайность снижается, а потому годы, хорошо обеспеченные осадками во второй половине лета, наиболее благоприятны для формирования урожая кукурузы, картофеля, сахарной свеклы. Годы с хорошим увлажнением весной и в начале лета благоприятны для многолетних трав, ранних яровых и озимых культур. В связи с этим при проведении расчетов значения коэффициентов водопотребления следует брать с учетом вышеуказанного в пределах интервалов, представленных в таблице по каждой культуре. Таким образом, при расчетах ДВУ за основу следует брать величину  $K_v$  из справочных

материалов, но с поправками на уровень агротехники и обеспеченность факторами внешней среды, в т.ч. питательными веществами: чем лучше будет обеспеченность, тем экономнее удельный расход воды, а величина коэффициента водопотребления будет снижаться, достигая нередко минимальных значений. Для районов с лучшими условиями увлажнения или при орошении величины коэффициента водопотребления имеют минимальные значения, в районах с низкой влагообеспеченностью и в засушливые годы этот показатель достигает максимальных значений. Влияние уровня агротехники на величину коэффициентов водопотребления можно проследить в материалах опытов на посевах яровой пшеницы, проведенных в Казанском ГАУ (М.Ф. Амиров, 2005) (табл. 3.16).

Таблица 3.16

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы (мм) и коэффициенты водопотребления яровой твердой пшеницы  
в зависимости от агроклиматического района и фона питания

Агроклиматический район	Фон	До посева	Выход в трубку	Перед уборкой	Коэффициент водопотребления, м <sup>3</sup> /т	Суммарное водопотребление, м <sup>3</sup> /т
Ульяновская обл.	Безенчукская 139 (1984-1987 гг.)					
	Без удобрений	134	94	48	1785	2427
	NPK на 3т зерна	141	96	40	1347	2586
	Без удобрений + поливы	141	137	54	1719	3267
	NPK на 3т зерна+поливы	144	145	47	1167	3362
Предкамье РТ	Светлана (1997, 1998 и 2000 гг.)					
	Без удобрений	168	102	51	1479	3254
	NPK на 3т зерна	165	97	50	1399	3246
	Безенчукская 139 (1998, 2000 и 2001 гг.)					
	Без удобрений	163	106	64	1440	3211
Закамье РТ	NPK на 3т зерна	166	112	58	1278	3298
	Безенчукская 200 (2001- 2003 гг.)					
	Без удобрений	162	121	87	1229	2422
	NPK на 3т зерна	166	116	86	863	2467

### 3.5. Методика оценки запасов продуктивной влаги в почве

В Среднем Поволжье весенние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы являются важным условием получения урожайности сельскохозяйственных культур, поэтому возникает необходимость проведения оценки ее запасов перед началом полевых работ. Запасы продуктивной влаги определяются разными методами, которые подробно рассматриваются в курсе «Земледелие». Влага, находящаяся в почве сверх влажности устойчивого увядания растений, называемая продуктивной, возможное содержание которой при наименьшей влагоемкости в метровом слое почвы в зависимости от типа почвы и ее гранулометрического состояния имеет большие различия. Для большинства полевых культур принято считать оптимальными запасами продуктивной влаги почвы, достигающими 80-90% от наименьшей влагоемкости. Это следует учитывать по каждому типу почв, поскольку она существенно изменяется в зависимости от гранулометрического состояния и гумусированности (табл. 3.17).

Таблица 3.17

Содержание продуктивной влаги  
при наименьшей влагоемкости по слоям почвы, мм

Тип почвы и гранулометрическое состояние	Содержание продуктивной влаги по слоям, см		
	0-20	0-50	0-100
<b>Черноземы</b>			
Глинистые	40	98	177
Тяжелосуглинистые	47	110	202
Среднесуглинистые	46	107	198
Легкосуглинистые	43	91	171
<b>Серые лесные</b>			
Тяжелосуглинистые	44	103	190
Среднесуглинистые	43	100	186
Легкосуглинистые	40	85	160
Супесчаные	34	77	152

Материалы наглядно свидетельствуют о том, что водоудерживающая способность метрового слоя почвы может колебаться от 152 мм (супесчаные почвы) до 202 (тяжелосуглинистые почвы), что следует учитывать при оценке вероятных запасов продуктивной влаги. Фактические запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в условиях хозяйства для каждого поля перед посевом следует определять общепринятым (весовым) методом, на основании которого осуществляется расчет ДВУ по влагообеспеченности.

Общее представление о вероятных запасах продуктивной влаги в почве

в первую декаду мая основных земледельческих зон Татарстана можно получить из справочных материалов (табл. 3.18).

Таблица 3.18

Вероятность запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы  
в период с 1 по 10 мая, мм

Зона	Среднемного летние запасы	Вероятность в отдельные годы, %			
		25	18	14	43
Предкамье	150-175	100-150	125-170	150-175	190-200
Предволжье	145-170	95-145	120-165	145-170	185-195
Западное Закамье	135-160	85-135	110-155	135-160	175-190
Юго-Восточное и Восточное Закамье	145-165	95-140	120-160	145-165	185-195

В условиях Республики Татарстан по среднемноголетним данным запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы к началу полевых работ (первая декада мая), как правило, ниже наименьшей влагоемкости и могут варьировать в пределах от 85 до 195 мм. Вероятность высокого уровня запасов продуктивной влаги (175-200 мм) в разные годы составляет не более 43%, к началу посевных работ показатели обычно снижаются еще на 10-15 мм и более. По почвенно-климатическим зонам они могут колебаться от 135-165 (Закамье) до 150-175 мм (Предкамье), однако в течении 7 лет (25%) из 28 лет могут снижаться до минимального уровня (100-150 мм), но также и повышаться в 43% случаев до максимально возможных (190-200 мм). В течении 4 лет могут быть средние запасы 150-175 и течении 5 лет – занимают 125-170 мм. В каждой зоне Республики Татарстан запасы продуктивной влаги весной зависят от условий увлажнения в осенний период предшествующего года, количества выпавших зимних осадков, условий таяния снега весной и напитывания влагой почвы, количества весенних осадков, учитывая которые можно спрогнозировать показатели возможных запасов влаги в почве перед посевом.

### 3.6. Примеры расчета ДВУ по влагообеспеченности и потенциальные возможности культур в Республике Татарстан

1. Исходные данные: Культура – яровая пшеница  
Район – Предкамье

$Bn$  – 165 мм;  $Bo$  – 155 мм;  $Vost$  – 40 мм; а)  $Kv$  – 900 м<sup>3</sup>/т (при высоком уровне агротехники); б)  $Kv$  – 1400 м<sup>3</sup>/т (при низком уровне агротехники).

Расчетная формула и расчеты:

$$ДВУ = \frac{(Bn+Bo-Vost)*10}{Kv}, \quad (3.25)$$

10 – коэффициент перевода мм продуктивной влаги в м<sup>3</sup>/га

A)  $\text{ДВУ} = \frac{(165+155-40)*10}{900} = 3,1 \text{ т/га}$

B)  $\text{ДВУ} = \frac{(165+155-40)*10}{1400} = 2,0 \text{ т/га}$

Вывод: при одинаковых количествах израсходованной влаги на формирование урожая (2800 м<sup>3</sup>/га) при высоком уровне агротехники с более экономным использованием воды урожайность зерна яровой пшеницы достигла 3,1 т/га, при низком 2,0 т/га или на 1/3 ниже.

2. Исходные данные: Культура – люцерна на сено

Район – Предкамье

СМКО – 440 мм; Вост – 40 мм; а)  $K_{\text{в}} = 800 \text{ м}^3/\text{т}$  (при высоком уровне агротехники); б)  $K_{\text{в}} = 1200 \text{ м}^3/\text{т}$  (при низком уровне агротехники).

Расчетная формула и расчеты:

$$\text{ДВУ} = \frac{(\text{СМКО}*0,7-\text{Вост})*10}{K_{\text{в}}} \quad (3.26)$$

A)  $\text{ДВУ} = \frac{(440*0,7-40)*10}{800} = 3,35 \frac{\text{м}}{\text{га}} \text{ сухой массы}$

B)  $\text{ДВУ} = \frac{(440*0,7-40)*10}{1200} = 2,23 \frac{\text{м}}{\text{га}} \text{ сухой массы}$

Вывод: применение более высокого уровня агротехники при одинаковых затратах влаги позволили получить по 3,35 т сена люцерны, при низком уровне агротехники – 2,23 т/га или на 1,12 т/га выше. Если принять во внимание, что посевы люцерны как многолетней культуры можно использовать в течение 4-5 лет, то разница по сбору корма суммарно составит 4,48-5,6 т/га.

Таким образом, применяя научно обоснованные технологии возделывания культур, предусматривающие обеспечение растений всеми регулируемыми факторами в оптимальных количествах, можно повышать урожайность за счет сокращения непроизводительных затрат влаги в 0,75-1,5 и более раз. В этом кроется секрет получения высоких урожаев полевых культур в зоне неустойчивого земледелия. На основании проведенных исследований и широких производственных опытов можно сделать заключение, что в Республике Татарстан применение научно обоснованной агротехники для каждой возделываемой культуры, позволяющей существенно снижать затраты воды на каждую единицу продукции, можно достигнуть уровня урожайности (ДВУ) в зависимости от обеспеченности

влагой – фактора, находящегося в первом минимуме, в среднем (с некоторыми колебаниями по северной и южной частям региона, т/га зерна):

- пшеница, ячмень, овес на зерно – 2-3
- озимая рожь – 2,4 – 3,8
- многолетние травы (сено) – 2,2-3,3.

### 3.7. Методика расчета оросительных норм

Среднее значение оросительной нормы определяется через суммарное водопотребление на основании балансовой формулы, в приходную часть которой включена оросительная влага ( $B_{op}$ ):

$$ДВУ * K_{\theta} = B_n + B_o + B_{op} - B_{ost}.$$

или

$$ДВУ * K_{\theta} = CMKO * 0,7 + B_{op} - B_{ost}.$$

Расчет оросительной нормы производится по формулам, выведенным из выше приведенных балансов:

а) для однолетних культур:

$$B_{op} = ДВУ * K_{\theta} - B_n - B_o + B_{ost}. \quad (3.27)$$

б) для многолетних трав:

$$B_{op} = ДВУ * K_{\theta} - CMKO * 0,7 + B_{ost}. \quad (3.28)$$

При этом следует учитывать, что при расчете оросительной нормы показатель ДВУ – потенциально возможный уровень урожайности культуры, сорта при оптимальной обеспеченности посевов влагой, который берется из соответствующей справочной литературы.

Для примера можно назвать потенциальную урожайность (ПУ) зеленой массы при орошении и высоком уровне агротехники ряда кормовых культур:

- силосные культуры (кукуруза, подсолнечник и др.) – 55,0-85,0 т/га;
- многолетние травы (люцерна, кострец безостый и др.) – 35-55 т/га.

При возделывании культур в условиях орошения необходимо брать за основу потенциальные возможности культуры, сорта и, используя минимальные значения коэффициента водопотребления, рассчитать количество влаги, необходимое для получения урожая, с учетом естественной влагообеспеченности, а поливы осуществлять таким образом, чтобы поддерживать влажность почвы на уровне 75-80% от НВ, особенно в критические периоды для роста и развития растений.

Уровень урожайности, рассчитанный в зависимости от влагообеспеченности для условий естественного увлажнения (ДВУ) и потенциально возможной – при орошении (ПУ), позволяет сделать научно обоснованный расчет доз удобрений под эту урожайность, что может снять и другую причину низкой урожайности – плохую обеспеченность растений элементами минерального питания.

## **Контрольные вопросы**

1. Классификация видов урожайности. Понятие о ДВУ, ПУ, УП и пути сокращения разрыва между этими показателями.
2. Что такое транспирационный коэффициент и средние параметры этого показателя для разных групп культур?
3. Понятие о коэффициенте водопотребления полевых культур и зависимость этого показателя от уровня агротехники, условий влагообеспеченности, культуры, сорта. Единицы измерения.
4. Понятие о суммарном водопотреблении и методика расчета этого показателя, единицы измерения.
5. Какова методика расчета ДВУ по влагообеспеченности, когда известны запасы продуктивной влаги перед посевом и когда не известны?
- 6 . Каковы особенности расчета ДВУ однолетних и многолетних культур? Дайте обоснование этих методов.
7. Какие методы существуют для определения запасов продуктивной влаги в почве?
- 8 . Какова методика расчета коэффициента водопотребления?
9. Какова методика установления возможной (ПУ) урожайности культуры при орошении?
10. Какова методика расчета оросительной и поливной нормы в зависимости от уровня программируемой урожайности и естественной влагообеспеченности?

## Глава 4. Фотосинтетическая деятельность сельскохозяйственных культур ее зависимость от основных элементов структуры посевов

Формирование урожайности растений происходит на 90-96% за счет накопления органического вещества, образующегося в процессе фотосинтеза, и зависит от основных элементов структуры посевов: площади листовой поверхности (ПЛ) (фотосинтетическая поверхность), коэффициента использования ФАР (КПД ФАР), фотосинтетического потенциала (ФП), чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ), что, в свою очередь, связано в значительной степени с густотой стеблестоя (травостоя) и др. Важно установить оптимальные значения и оценить, насколько рассматриваемые показатели структуры посевов в конкретных условиях агроландшафта и для определенной культуры соответствуют оптимальным.

### 4.1. Площадь листовой поверхности и фотосинтетический потенциал посевов заданного уровня продуктивности

Когда мы знаем, что урожайность формируется в процессе фотосинтетической деятельности посевов, то в целях ее повышения необходимо стремиться к увеличению коэффициента использования ФАР, создавая посевы оптимальной структуры с соответствующей площадью фотосинтетической поверхности.

Площадь листовой (фотосинтетической) поверхности полевых культур зависит от числа растений и размера листовой поверхности каждого из них и суммарно на единице площади ( $\text{м}^2/\text{га}$ ), биологических и морфологических особенностей культуры, сорта, агрометеорологических условий и уровня агротехники.

В опытах Г.П. Устенко была установлена прямая зависимость урожайности биомассы от площади листовой поверхности: при увеличении площади листьев кукурузы в три раза (с 13,1 до 40,2 тыс.  $\text{м}^2$ ) урожайность зерна выросла в 4,6 раза. В опытах И.С. Шатилова и М.К. Каюмова (1970) при увеличении площади листьев с 10 до 80 тыс.  $\text{м}^2$  на 1 га коэффициент использования ФАР увеличился вдвое, эта же закономерность отмечена в работе И.И. Синягина (1990). В опытах Н.И. Можаева (1966) в условиях Красноярского края увеличение количества растений кукурузы гибрида Буковинский 3 – с 40 до 95-100 тыс.  $\text{м}^2$  на 1 га привело к увеличению площади листовой поверхности с 21 до 43-45 тыс.  $\text{м}^2$  и повышению урожайности зеленой массы на 60-65%. Многочисленными опытами было установлено, что поглощение растениями солнечной радиации возрастает с увеличением площади листовой поверхности до 35-40 тыс.  $\text{м}^2$  на 1 га, а оптимальную структуру, по данным А.А. Ничипоровича и С.Н. Чморы (1981), имеют такие посевы, площадь листьев которых относительно быстро возрастает до размеров 40 тыс.  $\text{м}^2/\text{га}$  и продолжительное время сохраняется в активном состоянии на этом уровне, а в конце вегетации площадь

уменьшается, а листья могут полностью отмирать, отдавая накопленные пластические вещества репродуктивной части урожая.

Полевые и производственные опыты на посевах кукурузы, люцерны, житняка и др., проведенные в 70-80-е годы прошлого столетия показали, что формирование посевов оптимальной структуры (количество растений на единице площади, площадь листовой поверхности и др.) способствует повышению урожайности этих культур в среднем на 40-50% (Н.И. Можаев, 1983) и зависит от биологических и морфологических особенностей культуры и условий увлажнения. При естественной влагообеспеченности у зерновых и кормовых культур формируется площадь листовой поверхности от 13 до 40 тыс. м<sup>2</sup>/га, урожайность сухого вещества при этом достигает 2-3,5 т/га (1-1,8 т/га зерна). Относительно небольшую площадь листовой поверхности (9-15 тыс. м<sup>2</sup>) формирует пшеница (М.К. Сулейменов, 1991), а также житняк (Н.И. Можаев, 1979), что способствует повышению их засухоустойчивости и обеспечивает высокую приспособленность к засушливым условиям Северного Казахстана. При орошении и применении расчетных доз удобрений в условиях Северного Казахстана с увеличением площади листовой поверхности люцерны и кукурузы до 60-90 тыс. м<sup>2</sup>/га урожайность сухой массы вырастала до 10-15 т/га.

Таким образом, можно сделать заключение, что в зависимости от условий влагообеспеченности у разных культур оптимальные значения площади листовой поверхности может быть различным: для большинства полевых культур оно может быть на уровне 40-60 тыс. м<sup>2</sup>/га, а у культур засухоустойчивых – 10-20 тыс. м<sup>2</sup>/га. У кормовых культур, листья которых являются составной частью урожая, площадь должна быть значительно выше, чем у культур, возделываемых на зерно. В свою очередь, площадь листовой поверхности зависит от влагообеспеченности, поскольку при большей площади листьев будут выше затраты воды на транспирацию, то есть величина площади листовой поверхности растений находится в тесной коррелятивной взаимосвязи с влагообеспеченностью посевов: наличием влаги в почве и транспирацией растений. Оптимальной площадью листовой поверхности посевов можно считать такую площадь, при которой растения будут получать из почвы количество воды, необходимое для транспирации при существующей величине поглощаемой ими ФАР.

На формирование высокой урожайности, кроме площади листовой поверхности, влияет фотосинтетический потенциал (ФП) посевов, который представляет из себя произведение площади листьев на время их работы (в сутки) в течение вегетационного периода и рассчитывается по формуле:

$$\Phi P = L * T,$$

где  $\Phi P$  - тыс. м<sup>2</sup> • сут.;

$L$  – листовая поверхность, тыс. м<sup>2</sup>/га;

$T$  – продолжительность периода работы листьев (сут.).

Поскольку за вегетационный период приходится производить определение

$\Phi\pi$  несколько раз, то расчеты должны проводиться по формуле:

$$\Phi\pi = \frac{(L1+L2)}{2} * T1 + \frac{(L2+L3)}{2} * T2 + \frac{(L3+L4)}{2} * T3 \text{ и т.д.}, \quad (4.29)$$

где  $L1, L2, \dots$  – площадь листьев (тыс. м<sup>2</sup>/га) в начале и конце периода измерения;

$T$  - интервал, который в опытах обычно составляет 10-15 суток.

В посевах скороспелых культур и сортов, формирующих оптимальную структуру, по данным А.А. Ничипоровича (1981), уже на 30-й день после появления всходов площадь листьев должна достигать 30 тыс. м<sup>2</sup>, на 50-й день – 40 тыс. м<sup>2</sup>, а фотосинтетический потенциал – 2 млн. м<sup>2</sup>/сутки, позднеспелые должны иметь на 30-й день – 15 тыс. м<sup>2</sup>, на 70-й день – 50 тыс. м<sup>2</sup>, а  $\Phi\pi$  – 2,5-3,0 млн. м<sup>2</sup>/сутки. С увеличением густоты стеблестоя у большинства культур повышается площадь листьев и величина  $\Phi\pi$ , что приводит к более полному поглощению ФАР, однако при чрезмерном сгущении посевов в условиях сухостепной зоны урожайность снижается. Поскольку задача формирования посевов оптимальной структуры, в том числе и площади листовой поверхности, тесно связана с влагообеспеченностью посевов и уровнем урожайности, этот фактор должен бытьложен и в основу расчетов норм высева семян с учетом хозяйственного использования посевов (корм, зерно).

#### 4.2. Чистая продуктивность фотосинтеза

Чтобы оценить структуры посевов и уровень работы  $\Phi\pi$  необходимо учитывать продуктивность фотосинтеза или «чистую продуктивность фотосинтеза» (ЧПФ), характеризующую количество абсолютно сухого вещества (за вычетом затрат на дыхание), синтезируемое 1 м<sup>2</sup> листовой поверхности за сутки. Расчет этого показателя проводится по формуле:

$$ЧПФ = \frac{(B2-B1)}{\frac{(L1+L2)}{2} * T}, \quad (4.30)$$

где ЧПФ – чистая продуктивность фотосинтеза за период, г/м<sup>2</sup>;

$B1$  – масса урожая при предыдущем определении, г/м<sup>2</sup>;

$B2$  – масса урожая при последующем определении, г/м<sup>2</sup>;

$L1, L2$  – площадь листьев в те же сроки, м<sup>2</sup>;

$T$  – продолжительность периода, суток.

По данным А.А. Ничипоровича (1981), оптимальные значения ЧПФ в продуктивно работающих посевах достигают в среднем 5-6 г/м<sup>2</sup> в сутки, то есть каждый м<sup>2</sup> площади листовой поверхности посевов оптимальной структуры накапливает до 5-6 г сухого вещества, или при площади листовой поверхности 40 тыс. м<sup>2</sup> 2,0-2,5 ц/га сухого вещества за сутки. Вместе с тем опытами, проведенными во ВНИИЗХ (М.К. Сулейменов, 1991), установлено,

что у пшеницы сорта «Саратовская-29» ЧПФ достигала 9-12 г/м<sup>2</sup> в сутки, что позволило сделать вывод, что культуры, образующие относительно небольшую площадь листовой поверхности, способствующей повышению их устойчивости к засухе, за счет наличия активного фотосинтетического аппарата, обеспечивающего чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) до 10-12, г/м<sup>2</sup> в сутки, способны формировать высокую урожайность. Это обеспечивает высокую конкурентоспособность культур и сортов в сравнении с другими в условиях сухостепной зоны по засухоустойчивости и продуктивности. При площади листовой поверхности, превышающей оптимальную, увеличивается затененность и ухудшается режим освещенности внутри стеблестоя, что приводит к уменьшению показателя чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ), а степень и быстрота снижения чистой продуктивности фотосинтеза у разных растений оказываются различными. В опытах Н.И. Можаева (1985) в первом укосе люцерны площадь листовой поверхности в зависимости от уровня минерального питания повышалась с 46,0 до 90,0 тыс. м<sup>2</sup>, а урожайность сухой массы – с 25,6 до 47,0 ц/га, во втором соответственно – 36-66 тыс. м<sup>2</sup> и 24,3-41,9 ц/га и в третьем укосе – 29-49 тыс. м<sup>2</sup> и 11,7-19,7 ц/га. На каждую тысячу м<sup>2</sup> площади листовой поверхности было накоплено сухого вещества в первом укосе – 0,43-0,55 ц, во втором – 0,53- 0,66 ц, в третьем – 0,33-0,41 ц. На посевах костреца безостого каждая единица площади листовой поверхности накапливалась в 2-3 раза сухого вещества больше, чем люцерна: в первом укосе – от 0,92 до 1,58 ц, во втором – от 1,57 до 2,08, а с увеличением площади листовой поверхности – более 40 тыс. м<sup>2</sup>/га, уменьшалось и количество сухого вещества в расчете на единицу площади – с 1,66-1,58 до 0,92-1,09 ц.

На основании многочисленных полевых опытов на разных кормовых культурах было установлено, что площадь листовой поверхности кукурузы и многолетних трав, при которой существенно не снижается ЧПФ, в условиях орошения имеет более высокий «потолок», чем это представлялось ранее: при орошении и применении удобрений оптимальный уровень может достигать 60-90 тыс. м<sup>2</sup>/га, что обеспечивает получение урожая сухой массы до 100-130 ц/га при КПД ФАР 3,8-4,2%. При естественной влагообеспеченности или недостаточном орошении оптимальные значения площади листовой поверхности колеблются от 20 до 40 тыс. м<sup>2</sup>, урожайность не превышает 20-35 ц/га, а использование ФАР при этом – не более 0,3-0,6 %. Высокорослые растения с ярусным расположением листьев – кукуруза, сорго и др. способны лучше аккумулировать солнечную энергию в сравнении с теми, у которых листья расположены в форме розетки, поэтому могут давать высокие урожаи биологической массы. В пределах одного вида или сорта экземпляры, отличающиеся острым углом прикрепления листьев, способны лучше использовать солнечную радиацию, чем те, у которых листья прикреплены под углом, близким к прямому, потому оптимальная величина площади листовой поверхности должна быть выше. Таким образом, достижение потенциального уровня урожайности зависит от продуктивности

фотосинтеза, а оптимальные значения ЧПФ могут быть достигнуты при формировании посевов каждой культурой, сортом оптимальной структуры (площадь листовой поверхности, густота стеблестоя (травостоя), фотосинтетический потенциал посевов и др.). Сгущение посевов выше оптимальных значений приводит к возрастанию площади листовой поверхности, одновременно к снижению ЧПФ. Рассмотренные выше материалы позволяют сделать заключение о том, что для определенных почвенно-климатических условий в зависимости от уровня увлажнения, цели возделывания и др. и для каждой культуры свои оптимальные значения густоты стеблестоя (травостоя), а, следовательно, под эту густоту должна устанавливаться и соответствующая норма высева семян. При необоснованно высоких нормах высева семян, происходит саморегуляция густоты растений, особенно у многолетних трав, имеющих пониженную реакцию на норму высева, в результате происходит неоправданный расход посевного материала. Поэтому следует овладевать методами управления формированием и получением оптимальной густоты стеблестоя при минимальном расходе высеваемых семян.

#### 4.3. Потенциальные возможности полевых культур в условиях Республики Татарстан

Потенциал культуры, сорта связан с генетическими свойствами растения и зависит от обеспеченности факторами внешней среды: одна и та же культура, сорт в разных почвенно-климатических условиях и в зависимости от уровня агротехники будет иметь различный «потолок» урожайности. Конкретные сведения о потенциальных возможностях культуры, сорта в определенных условиях можно взять из характеристик, основанных на результатах сортоиспытания, полевых агротехнических и производственных опытов и др. В условиях нашей республики, на примере сортоиспытательных участков, расположенных в различных зонах Татарстана при естественном увлажнении потенциал большинства культур и сортов лимитируется влагообеспеченностью и при обеспеченности всеми регулируемыми факторами может достигать в среднем: озимая пшеница – 3,7 т/га, озимая рожь – 3,8 т/га, яровая пшеница – 3,1 т/га, ячмень – 3,2 т/га, овес – 3,7 т/га, горох – 2,4 т/га, гречиха – 2 т/га, просо – 4 т/га, картофель – 22 т/га.

Годовое количество осадков в Татарстане 440 мм. Выходит, при урожайности 2 т зерна с 1 га на каждую тонну уходит 22 мм. Если бы удалось организовать питание растений в соответствии с их биологическими требованиями и свести до минимума испарение почвой и сток, количество осадков даже в самые засушливые годы позволило бы получить очень высокие урожаи.

Опыты Татарского НИИ сельского хозяйства 70-х гг. показали, что прибавки урожаев зерновых от орошения на обычных фонах удобрений составляют 0,9 – 1,3 т с 1 га, картофеля – 6 - 9 т, луговых травосмесей (при

одном поливе) – 13 т. Эти прибавки в то время с лихвой покрывали производственные затраты. Прибавки резко возрастают на фоне более высоких доз удобрений при программировании урожаев, так как внесение удобрений с установлением правильного соотношения элементов питания понижает коэффициент водопотребления у растений (например, рожь Чулпан в 1980 г. на фоне, рассчитанном на 8 т с 1 га, дала прибавку от полива 2,92 т/га). Это реальный путь эффективного использования высоких доз удобрений при ограниченных площадях орошаемых земель.

В ряде случаев потенциал культуры может повышаться при формировании агрофитоценозов путем возделывания ее в смеси с другими культурами, что позволяет увеличивать площадь листовой поверхности на единицу площади, ФП и КПД ФАР, а, следовательно, урожайность. При посеве травосмесей в целях формирования устойчивого агрофитоценоза (высокая урожайность, качество корма, долголетие продуктивного использования и др.) наибольшее значение имеет научно обоснованный подбор компонентов, что способствует снижению межродовой и межвидовой конкуренции за факторы внешней среды, а также норма высева семян и их пространственное размещение. Следует учитывать, что из травосмесей с возрастом выпадают менее конкурентоспособные (слабые) виды, а выживают более устойчивые: например, в травосмеси люцерны с кострецом безостым на втором году жизни в травостое преобладает люцерна, с 3-го года люцерна вытесняется более конкурентоспособным компонентом – кострецом безостым. Раннее выпадание бобовых трав из агрофитоценоза со злаковыми травами связано с целым рядом факторов: конкурентоспособность вида в борьбе за факторы внешней среды, физико-химические свойства почвы, борьба за влагу и питательные вещества, вредные для других компонентов травосмеси корневые выделения ряда растений (аллелопатия), неодновременность весеннего отрастания и др. В целях формирования более устойчивых агрофитоценозов из бобово-злаковых трав считается эффективным высев не смеси семян в общие рядки, а через ряд, через ленту, через полосу, поскольку черезполосные, раздельно-ленточные, черезрядные посевы уменьшают конкурентную межвидовую борьбу, увеличивается площадь листовой поверхности и фотосинтетический потенциал, ЧПФ, существенно возрастает коэффициент использования ФАР, а, следовательно, и урожайность, а также удлиняется период продуктивного долголетия травостоя (агрофитоценоза). Рациональному использованию пашни, повышению коэффициента использования ФАР и увеличению производства продукции с единицы площади способствует применение промежуточных культур.

## **Контрольные вопросы**

1. Площадь листовой поверхности растений и посевов и ее значение в формировании урожая культуры. Методика определения. Средние значения этого показателя и изменение их у разных культур в зависимости от обеспеченности факторами внешней среды.
2. Дайте определение понятия «Фотосинтетический потенциал» посевов. Методика расчета. Оптимальные значения этого показателя и причины колебаний, единицы измерения.
3. Поясните понятие «оптимальная структура посевов».
4. Понятие «чистая продуктивность фотосинтеза». Методика расчета. Оптимальные значения этого показателя и причины их изменений. Единицы измерения.
5. Какие приемы позволяют управлять структурой посевов и ее элементами?
6. Дайте теоретическое обоснование нормам высева семян полевых культур и их взаимосвязи с формированием оптимальной структуры посевов.
7. «Саморегуляция густоты посевов» и факторы, влияющие на этот процесс. Практическое значение знания этих процессов.

### Раздел III. Практические приемы программирования урожаев для обоснования агротехнологий производства полевых культур

Применение программирования урожаев в производственных условиях связано с необходимостью теоретического обоснования каждого элемента технологии возделывания культур и использования их при разработке и применении для конкретных условий хозяйства, элементарного ареала агроландшафта. Технология возделывания культур, или агротехнология представляет из себя сочетание агротехнических приемов, позволяющих создать необходимые условия растениям для развития всех элементов структуры урожая, последовательное и научно обоснованное применение которых дает возможность при полной обеспеченности посевов регулируемыми факторами полностью раскрыть потенциальные возможности культуры, сорта и получить максимально возможный уровень урожайности высокого качества.

Технология возделывания культур предусматривает обязательное применение следующих основных элементов:

- размещение посевов по лучшим предшественникам в системе севооборотов;
- возделывание высокоурожайных культур и сортов;
- научно обоснованной системы подготовки семян к посеву и обработки почвы;
- сроки и способы посева;
- нормы высева семян;
- сроки, способы и дозы внесения удобрений;
- уход за посевами, предусматривающий защиту посевов от сорняков, вредителей и болезней растений;
- сроки и способы уборки урожая и других вопросов.

Применительно к каждой культуре все эти вопросы подробно рассматриваются в профильных агрономических дисциплинах: «Растениеводство», «Кормопроизводство», «Овощеводство» и др. Поэтому в задачу дисциплины «Программирование урожаев сельскохозяйственных культур» не входит подробное изложение прикладных (практических) вопросов, а дается лишь теоретическое обоснование ряда из вышеперечисленных агротехнических приемов. В частности, методику расчета норм высева семян, позволяющую получать оптимальную густоту стеблестоя (травостоя) с минимальным расходом семян, определение доз удобрений с учетом плодородия почвы и уровня урожайности, рассчитанных по лимитирующему фактору и ряд других вопросов.

## Глава 1. Программирование оптимальной густоты стеблестоя посевов

### 1.1. Условия, влияющие на формирование густоты посевов

Накопление растениями органического вещества происходит в процессе фотосинтеза и зависит от площади листьев и ФП, поэтому на эти показатели и уровень урожайности посевов влияет количество растений на единице площади, сохранившихся к уборке, густота стеблестоя (травостоя) формируется под воздействием факторов внешней среды и уровня агротехники, которые условно можно объединить в две основные группы.

Первая группа влияет на получение количества растений к фазе полных всходов, посевные качества семян (норма высева, глубина их заделки и условия увлажнения в верхних слоях почвы и др.). Вторая определяет сохранность растений за период от полных всходов до уборки, а для многолетних трав и озимых культур — в процессе перезимовки и связана с метеорологическими условиями за этот период, проведением ухода за посевами и др. На количество растений к уборке оказывают влияние полевая всхожесть семян, выживаемость и сохранность растений, которые следует прогнозировать и учитывать при расчете норм высева семян. Полевая всхожесть это отношение числа растений в фазу полных всходов к количеству высеванных всхожих семян на единице площади, выраженное в процентах. Расчетная формула полевой всхожести (Пв) семян может выглядеть так:

$$П_в = \frac{\text{Число растений в фазу полных всходов шт./м}^2 * 100}{\text{Количество высеванных всхожих семян, шт. на } 1\text{м}^2}$$

Сохранность растений – это показатель, характеризующий отношение количества растений, сохранившихся к уборке к количеству растений, полученных в фазу полных всходов(шт/м<sup>2</sup>), выраженное в процентах. Расчетную формулу сохранности растений (Ср) можно представить в следующем виде:

$$С_р = \frac{\text{Растения к уборке, шт./м}^2 * 100}{\text{Растения в фазу полных всходов, шт. на } 1\text{м}^2}$$

Изменение величины показателя сохранности растений за период от полных всходов до уборки связана с гибелью растений и зависит от многих факторов: низкой влагообеспеченностью (засуха), повреждение растений вредителями и болезнями, уничтожение (вырезание) растений при нарушении технологии ухода за посевами (боронование по всходам, междурядная обработка, неразумное применение гербицидов и др.).

Выживаемость растений это показатель, характеризующий отношение количества растений, сохранившихся к уборке к количеству высеванных всхожих семян (шт/м<sup>2</sup>), выраженное в процентах, иными словами, этот показатель характеризует количество растений, полученных к уборке от каждого 100 шт. высеванных всхожих семян. Выживаемость растений может

рассчитываться следующими способами:

а) через количество высеванных всхожих семян по формуле:

$$B_p = \frac{\text{Число растений к уборке, шт./м}^2 * 100}{\text{Количество высеванных всхожих семян, шт. на } 1\text{м}^2};$$

б) через показатели полевой всхожести семян и сохранности растений:

$$B_p = \frac{P_v * C_p}{100},$$

где  $B_p$  – выживаемость растений, %;

$P_v$  – полевая всхожесть семян, %;

$C_p$  – сохранность растений, %.

Показатели полевой всхожести семян и выживаемости растений можно брать из справочной литературы с соответствующими обоснованными поправками на уровень проектируемой технологии возделывания культуры;

в) через полевую всхожесть и сохранность растений с учетом посевной годности высеванных семян:

$$B_p = \frac{P_g * P_v * C_p}{10000},$$

где  $B_p$  – выживаемость растений, %;

$P_g$  – посевная годность семян, %;

$P_v$  – полевая всхожесть семян, %;

$C_p$  – сохранность растений, %.

Посевная годность семян ( $P_g$ ) представляет из себя произведение чистоты семян ( $Q$ , %) на лабораторную всхожесть ( $B$ , %):

$$P_g = \frac{Q * B}{100},$$

Таким образом, при расчете норм высева под планируемую густоту следует заранее спрогнозировать величины показателей – полевой всхожести семян, выживаемости и сохранности растений, зависящих от складывающихся метеорологических условий и уровня агротехники. Прогнозировать эти показатели и также коэффициент продуктивной кустистости очень трудно, поскольку неизвестно, как сложатся метеорологические условия в период вегетации, потому приходится пользоваться средними данными, полученными в опытах и производственных условиях. По обобщенным данным, продуктивная

кустистость озимой ржи составляет в среднем 1,5-3,0, озимой пшеницы – 1,5-2,5, а яровых зерновых хлебов – в пределах 1,2-2,0, а полевая всхожесть яровой пшеницы – в среднем 85%, выживаемость растений – 68%, с колебаниями – от 57 до 85%. Аналогичные показатели выведены и по кормовым культурам.

Показатели полевой всхожести семян и сохранности растений зависят, в первую очередь, от уровня обработки почвы, посевых качеств семян и подготовки их к посеву, выбора оптимальных для складывающихся условий срока посева, глубины заделки семян, приемов ухода за посевами, и т.д., то есть при оптимизации всех элементов технологии эти показатели могут достигнуть максимальных значений, а при нарушении технологии могут значительно снижаться. Знание этих вопросов и умение применить их на практике, позволяет агроному максимально приблизить полевую всхожесть семян к лабораторной, а сохранность растений к 100%, то есть необходимо стремиться к тому, чтобы каждое высеванное семя дало полноценные всходы, а каждое полученное растение достигло уборочной (укосной) спелости, что позволит уменьшить расход семян, которые в структуре себестоимости получаемой продукции растениеводства занимают не последнее место. Для примера можно сослаться на опыт возделывания кукурузы в Германии, свидетельствующий о возможности доведения полевой всхожести семян до 95%, то есть потери составляют не более 5% от высеванных всхожих семян, а сохранность растений приближается к 100%. Такие высокие показатели достигаются за счет высева семян с высокими посевными качествами, технологии подготовки их к посеву (калибровка, проправливание высокоэффективными препаратами, инкрустирование и др.), качества подготовки почвы к посеву (культивация, выравнивание, прикатывание и др.), выбор срока посева для каждой культуры с учетом прогревания почвы и влажности ее в верхних слоях почвы, высокоточных сеялок, обеспечивающих заданную глубину заделки семян и их распределение в рядке, а также системы ухода за посевами.

## 1.2. Норма высева семян и густота стеблестоя

Основными элементами структуры урожая у зерновых культур являются: число растений на единице площади к уборке, продуктивная кустистость, число зерен в колосе, масса 1000 зерен при стандартной влажности. Многочисленные исследования и производственный опыт показывают, что с увеличением количества растений на единице площади до определенного предела урожайность культур возрастает. Научно-исследовательскими учреждениями для каждой почвенно-климатической зоны установлены величины оптимальной густоты стояния зерновых культур и в соответствии с этим рекомендованы соответствующие нормы высева семян. В районах с хорошим увлажнением рекомендуется к уборке иметь на гектаре 3,5-4,5 млн. растений яровой пшеницы, 2,5-3,5 млн. растений озимой

ржи, озимой пшеницы, ячменя. В условиях Республики Татарстан, по данным кафедры растениеводства Казанского ГАУ, с увеличением нормы высеива яровой пшеницы до критического оптимума урожайность повышалась, после чего существенно не изменялась до критического максимума, после которого снижалась, а критический минимум колебался в пределах от 3,5 до 5,5 млн., критический максимум от 6,0 до 7,5 млн. всхожих семян на 1 га. Для почвенно-климатических условий Предкамья, Предволжья, Восточного и Юго-Восточного Закамья оптимальный интервал норм высеива составляет 5,5-6,0 млн., для Западного Закамья 5,0-5,5 млн. всхожих семян на 1 га. Высевая указанное количество семян, можно достигнуть оптимальной густоты стеблестоя 408-490 растений на 1 м<sup>2</sup> для яровой пшеницы.

Расчет биологической урожайности можно производить по формуле:

$$\text{Убиол.} = \frac{\text{Ч} * \text{Пк} * \text{З} * \text{А}}{10000},$$

где Убиол – биологическая урожайность, т/га;

Ч – число растений, шт./м<sup>2</sup>;

Пк – продуктивная кустистость;

З – число зерен в колосе;

А – масса 1000 зерен при стандартной влажности.

Урожайность формируется за счет нескольких слагаемых – элементов структуры, степень выраженности каждой из них может быть различной, поскольку при слабом развитии одного структурного элемента урожайность может быть компенсирована за счет более интенсивного развития других элементов. Следует учитывать, что элементы структуры урожая формируются не одновременно на различных этапах вегетации.

По данным М.К. Сулейменова (1991), яровая пшеница сорта «Саратовская-29» имела в зависимости от нормы высеива следующую продуктивную кустистость: при 1,0-1,5 млн. шт. всхожих семян на 1 га по паровому предшественнику 1,93, по стерневому 1,77; при норме 2,0-2,5 соответственно 1,52 и 1,42; при норме 3,0-3,5 соответственно 1,30 и 1,08, при норме 4,0-4,5 млн. шт. 1,16 и 1,04. Изменялось и количество колосков в колосе: при норме высеива 1,0 -1,5 млн. всхожих семян на 1 га по паровому предшественнику образовалось в среднем 12,2, при 4,0-4,5 – 9,6, а количество зерен в колосе было соответственно 27,1 и 19,6 шт., а масса 1000 семян соответственно – 36,0 и 32,8 г.

Экологические условия зоны сильно влияют на норму высеива. Например, в засушливых южных и юго-восточных районах с годовой суммой осадков 300-400 мм и суммой активных температур 3000-3500°С рекомендуется высевать кукурузу на зерно с нормой высеива 26-33 тыс. всхожих семян на 1 га, чтобы обеспечить густоту растений к уборке 20-25 тыс/га. В степных районах неустойчивого увлажнения с суммой осадков 400-

500 мм норму высева увеличивают до 40-52 тыс. (30-40 тыс. растений к уборке), а в районах достаточного увлажнения – до 56-84 тыс./га.

Максимальный урожай зеленой массы и сена клевера лугового и люцерны пестрогибридной можно получить при густоте 120-200 растений на 1 м<sup>2</sup>, или 1,2-2,0 млн/га. Такую густоту растений перед первым укосом можно получить при норме высева клевера 2,0-2,5 млн всхожих семян на 1 га (4-5 кг/га). В тоже время в большинстве рекомендаций предлагают высевать 16-20 кг клевера на 1 га, или 8-10 млн всхожих семян. Причина такого завышения нормы высева в некачественной предпосевной обработке почвы и крайне неравномерной глубине заделки семян. Семена клевера лугового и люцерны успешно могут пробить слой почвы и вынести семядоли на поверхность с глубины 1-2 см. Заглубление их на 3 см снижает полевую всхожесть в 2-3 раза, а с глубины 4 см пробиваются лишь отдельные проростки.

У кормовых культур исследователи иногда пытаются ставить знак равенства между нормой высева, густотой стеблестоя и урожайностью, подразумевая при этом, что при более высокой норме высева должно быть больше растений на единице площади. На самом деле, в природе в зависимости от почвенно-климатических условий и, в первую очередь, от уровня увлажнения и обеспеченности элементами минерального питания, действует внутривидовая конкуренция и саморегуляция густоты растений. Опытами установлено (Н.И. Можаев, 1985), что саморегуляция резко проявляется у культур, имеющих пониженную реакцию на норму высева, в частности, у многолетних трав. Саморегуляция густоты растений идет за счет выпадения части растений из стеблестоя и снижения кустистости, уменьшения количества стеблей на одном растении, при этом урожайность

от увеличения нормы высева семян не только не возрастает, а нередко даже снижается, что наглядно можно проследить на примере житняка в условиях естественного влагообеспечения. Нормы высева семян житняка на корм и семена изучались в большом интервале - от 2 до 14 млн. всхожих семян, то есть различие между крайними вариантами было в 7 раз, однако уже к концу первого года жизни травостоя разрыв сузился до 1:6, количество растений на 1 м<sup>2</sup> на крайних вариантах составило 120 и 598, а кустистость соответственно - 9 и 3,5. На 2-3 годах жизни независимо от нормы высева осталось на 1 м<sup>2</sup> почти одинаковое количество стеблей – 1300-1500 шт., а при более высоких нормах высева семян количество генеративных стеблей снизилось на втором году – до 606-908 и на третьем – до 281-741. Таким образом, норма высева семян многолетних трав и получаемое количество растений на единице площади не всегда находятся в прямой зависимости, поскольку в травостоях действует закон саморегуляции густоты, и, чем выше загущенность посевов и чем более жесткие условия по влагообеспеченности, тем интенсивнее протекает этот процесс. Процесс саморегуляции осуществляется не только за счет выравнивания количества растений вне зависимости от норм высева, но и существенного изменения элементов

структуры урожая: стеблестоя, колосьев, бобов, семян в них, то есть проявляются выработавшиеся в процессе эволюции свойства растений, направленные на сохранение вида, а в более изреженных травостоях урожайность семян компенсируется за счет формирования на каждом растении большего их количества.

#### 1.4. Оптимальная густота стеблестоя посевов и методика расчета нормы высева семян при программировании урожаев

Рассчитывая норму высева семян культуры для определенного поля, следует учитывать запасы продуктивной влаги, условия увлажнения в течение вегетационного периода, плодородие почвы, засоренность и другие факторы. Это требует больших знаний и умений агронома, поскольку от густоты стеблестоя зависят особенности формирования площади листовой поверхности, фотосинтетического потенциала, чистой продуктивности фотосинтеза посевов культуры, сорта, а в конечном итоге – урожайности при возможно минимальном расходе семян. Оптимальные значения этих показателей находятся в прямой зависимости от теплового режима и условий увлажнения, т.к. оптимальной площадью листовой поверхности следует считать такую, которая обеспечивается влагой почвы для нормального протекания процесса транспирации посевов. Поэтому, чем хуже влагообеспеченность, тем меньше должна быть площадь листовой поверхности, а значит, меньше и густота стеблестоя (травостоя) в расчете на единицу площади. Можно отметить, что ошибки агрономов в определении норм высева культур нередко выправляет сама природа: у ряда культур при чрезмерном загущении происходит выпадение (гибель) растений, растения хуже кустятся, имеют меньшую массу и т.д., и, наоборот, в изреженных травостоях коэффициент кустистости выше, то есть происходит процесс саморегуляции густоты стеблестоя и формирование площади листовой поверхности посевов в зависимости от уровня увлажнения и других факторов.

В интенсивном земледелии возлагать надежды на естественную регуляцию густоты ни в коем случае не следует, поскольку это приводит к непроизводительному расходу семян, а, следовательно, денежных средств, и снижению урожайности культуры. В производственных условиях применяются два основных метода расчета норм высева семян: первая – через рекомендованную норму высева в млн. шт./га (коэффициент высева); вторая – путем расчета под оптимальную густоту стеблестоя. Первый метод основан на полученных в опытах и рекомендованных научными учреждениями средних показателей для зоны, области, района нормы высева в млн. шт. всхожих семян на 1 га (коэффициент высева семян). За многие годы научными учреждениями регионов (инstitуты, опытные станции, сельхозинstitуты и др.) была проведена масса полевых опытов с культурами и сортами, при этом изучение норм высева семян нередко осуществлялось в

большом диапазоне, например, от 1 до 10 млн. шт. всхожих семян на 1 га, при этом устанавливается, при какой из изученных норм высеива получена самая высокая урожайность, на основании чего даются рекомендации производству. В пределах нашей республики, например, рекомендуется высевать ячмень на 1 га от 4,0 до 5,5 млн. всхожих семян, при этом для засушливых районов Закамья – 4,5-5,0, при лучшем увлажнении в Предкамье от 5,0 до 5,5. Аналогичные рекомендации имеются по всем культурам, технология возделывания которых изложена в учебниках по растениеводству, кормопроизводству и другим дисциплинам. Для пересчета этого показателя на весовую норму высеива семян в кг/га берется рекомендуемая норма семян в млн. шт./га, масса 1000 семян и их посевная годность.

$$Н_{в} = \frac{М * А * 100}{ПГ},$$

где Н – норма высеива семян весовая, кг/га;

М – рекомендуемая норма высеива в млн. шт. семян на 1 га (коэффициент высеива);

А – масса 1000 семян, г;

ПГ – посевная годность семян, %.

Преимущество этого метода – простота расчета, а недостаток в том, что не учитываются условия, влияющие на полевую всхожесть семян, выживаемость и сохранность растений в течение вегетационного периода, то есть роль агронома в управлении процессом формирования стеблестоя и урожайности можно назвать пассивной. Второй метод предусматривает определение величины оптимальной густоты стеблестоя с учетом всех показателей, влияющих на формирование количества растений к уборке, вносится прогнозируемая поправка на полевую всхожесть семян, сохранность растений, а также посевную годность семян. Применительно к складывающимся условиям весны для каждого поля, культуры, сорта в зависимости от увлажнения, уровня агротехники уже не шаблонно, как в первом случае, моделируются условия роста и прогнозируются величины полевой всхожести семян и сохранности растений. Этот метод позволяет получать оптимальную предуборочную густоту стеблестоя (травостоя) при минимальном расходе семян на посев, при этом растения могут максимально проявить свои биологические особенности, в частности, способность к кущению, сводя до минимума межвидовую борьбу и саморегуляцию густоты, гибель растений, ухудшение соотношения показателей элементов

структур урожая и др. При расчетах норм высеива есть некоторые особенности для кормовых и зерновых культур. При расчете нормы высеива семян кормовых культур под оптимальную густоту стеблестоя (травостоя)

необходимо исходить из того, что стеблестой (травостой) культуры с оптимальной густотой следует считать при наличии такого количества растений на единице площади, которое обеспечивает в определенных

конкретных условиях рост и развитие растений и формирование максимального уровня урожайности. Для получения максимально возможного уровня урожайности с учетом влагообеспеченности, агротехники и других факторов следует заранее определить оптимальную для складывающихся конкретных условий предуборочную густоту стеблестоя культуры или группы культур, возделываемых в хозяйстве. Каждому агропроизводственнику следует вести наблюдения и накапливать опыт по оценке влияния всех элементов технологии на формирование элементов структуры урожая и урожайности за весь период «от семени и до семени», в том числе полевую всхожесть семян, выживаемость и сохранность растений в зависимости от обеспеченности культуры влагой, пищей, засоренности, сроков посева, глубины заделки семян, а также густоте стеблестоя (травостоя), продуктивной кустистости и др., обеспечивающих в складывающихся условиях уровень урожайности. В качестве исходных данных для расчетов оптимальной густоты стеблестоя кормовых культур можно воспользоваться обобщенными материалами, полученными в полевых опытах и производственных условиях Республики Татарстан.

Таблица 1.1  
Оптимальная (предуборочная) густота растений,  
обеспечивающая максимальный уровень урожайности  
в условиях Республики Татарстан, шт./м<sup>2</sup>

Культуры	Агротехнологии		
	Экстенсивные, базовые	Высокие	Интенсивные
Густота колосьев (метелок):			
Озимая пшеница	350-400	400-420	450-500
Озимая рожь, тритикале	300-350	350-400	450-500
Яровая пшеница	300	350	450
Ячмень	350	400	450
Овес	350-400	450	450
Густота растений:			
Горох	90	90	90
Гречиха	120	130	140
Картофель	4,2-4,4	4,5-4,8	4,9-5,0
Сахарная свекла	8,5	9,5	10,5
Яровой рапс	100-110	120-130	130-140
Подсолнечник	4-6	4-6	4-6
Кукуруза на зерно	4-6	4-6	4-6
Кукуруза на силос	15-17	18-20	20-22
Подсолнечник на силос	15-17	18-20	20-22

Клевер луговой	120-150	160-190	190-200
Люцерна на 2-4 годах жизни	80-100	100-110	110-120
Эспарцет на 2-4 годах жизни	90-100	100-120	120-130
Кострец безостый	120-160	160-180	180-200

В таблице цифры даны с определенным интервалом, учитывая, что максимального количества растений следует достигать при высоком уровне агротехники. Норма высева семян кормовых культур (в млн. шт./га) может рассчитываться по формуле:

$$M = \frac{P_p * 100 * 10000}{B_p},$$

где  $M$  — норма высева всхожих семян, млн. шт./га;

$P_p$  — оптимальное предуборочное (проектное) количество растений, шт./м<sup>2</sup> (согласно табл. 1.1);

$B_p$  - выживаемость растений, % (табл. 1.2).

10000 – пересчет с 1 м<sup>2</sup> на 1 га.

Таблица 1.2  
Средние значения полевой всхожести семян и сохранности растений, %

Культура	Полевая всхожесть	Сохранность растений, %
Озимая рожь, чистый пар	85	85
Озимая рожь, занятый пар	80	80
Яровая пшеница, ячмень, овес	85	80
Горох	90-85	90-85
Картофель	95-98	95
Сахарная свекла	80	95

Далее, взяв показатель массы 1000 семян и сделав поправку на посевную годность семян, можно вычислить весовую норму высева (кг/га) по методике, изложенной далее. Полевая всхожесть семян полевых культур и особенно многолетних трав бывает значительно ниже лабораторной, поэтому изучение возможностей сокращения разрыва между этими показателями имеет большое практическое значение. Полученные в опытах материалы по полевой всхожести семян в зависимости от агротехнологии дают возможность при решении задачи получения заданного количества растений вносить соответствующие поправки к норме высева.

Для зерновых культур норму высева следует рассчитывать, исходя из оптимального стеблестоя культуры к уборке на 1 м<sup>2</sup>, применительно к

конкретной зоне. Показатель программируемого оптимального стеблестоя следует брать с учетом почвенно-климатических условий хозяйства и предшественников. При расчете следует спрогнозировать полевую всхожесть семян, выживаемость растений, продуктивную кустистость с учетом факторов, влияющих на эти показатели, и посевных качеств семян. Расчет для зерновых культур можно произвести по формуле, предложенной М.С. Савицким (1973):

$$Н_{В} = \frac{С * А * 100}{К * В * ПГ},$$

где  $Н_{В}$  – норма высева, кг/га;

С – количество стеблей к уборке на 1 м<sup>2</sup>, шт.;

А – масса 1000 семян, г;

К – продуктивная кустистость;

В – показатель выживаемости растений, %;

ПГ – посевная годность семян, %.

Продуктивная кустистость озимых зерновых культур в Татарстане находится в пределах от 1,5 до 3,0, яровых зерновых в пределах от 1,2 до 2,5 с колебаниями в различные годы на разных полях в зависимости от увлажнения, предшественников, технологии, культуры, сорта от 1 до 2,5-3,0. Полевая всхожесть семян в среднем 80-85%, выживаемость растений – 68-76%, с колебаниями от 55 до 85%. Оптимальная величина количества стеблей (колосяев) (С) зерновых культур перед уборкой в пределах региона в зависимости от влагообеспеченности может колебаться от 300 до 500 шт./м<sup>2</sup>.

В практической работе каждому агроному следует накапливать собственные наблюдения по указанным вопросам, чтобы затем вполне обоснованно для каждого поля с учетом влагообеспеченности, культуры, сорта, засоренности, плодородия, уровня агротехники, сроков посева и других факторов делать расчеты нормы высева под программируемую густоту стеблестоя. Для расчета оптимальной густоты стеблестоя кормовых культур можно воспользоваться разработками, полученными на основании проведенных полевых опытов или представленных в таблице 1.1 справочных материалов.

Достигнуть для каждой культуры в конкретных почвенно-климатических условиях оптимальной предуборочной густоты стеблестоя – значит получить максимальный урожай при наименьшем расходе семян, а в конечном итоге при минимальных затратах труда и материальных средств.

Разработка теоретических основ получения оптимальной предуборочной густоты и норм высева семян – один из важных вопросов программирования урожаев, поскольку решение этих вопросов позволяет для конкретных условий в конечном итоге формировать посевы с лучшими параметрами площади листовой поверхности, фотосинтетического потенциала, чистой продуктивности фотосинтеза.

## **Контрольные вопросы**

1. Перечислите, какие основные требования предъявляются к посевным качествам семян полевых культур? Каковы показатели кондиционности семян?
2. Как определяется «посевная годность семян»?
3. Как Вы понимаете полевую всхожесть семян. Значение и методика ее определения.
4. Основные различия между полевой и лабораторной всхожестью? Возможности и основные агротехнические приемы, способствующие сокращению этого разрыва.
5. Как понимаете «сохранность» и «выживаемость» растений, методика их определения и основные агротехнические приемы, способствующие повышению этих показателей?
6. Основные понятия об оптимальной густоте стеблестоя разных культур. Зависит ли она от факторов внешней среды и почвенно-климатических условий?
7. Какие методы расчета норм высева полевых культур, применяемые в настоящее время Вам известны?
8. Как рассчитывают нормы семян под планируемую (оптимальную) предуборочную густоту с учетом посевной годности семян, их полевой всхожести и сохранности растений?

## **Глава 2. Обоснование методов расчета доз удобрений под запрограммированный уровень урожайности полевых культур**

### **2.1. Направления в расчетах доз удобрений**

Система удобрения это комплекс агротехнических и организационно-хозяйственных мероприятий по наиболее рациональному применению удобрений для повышения урожайности культур и плодородия почвы. Разработка этой системы с учетом плодородия почвы является одним из принципов программирования урожайности. В решении задач, связанных с получением заданного программируемого уровня урожайности, обоснованием методов расчета и применением оптимальных доз удобрений, необходимо соблюдать следующие условия:

- 1) максимально удовлетворить потребности растений в питательных веществах для получения запрограммированного уровня урожайности;
- 2) обеспечить сохранение и дальнейшее повышение эффективного плодородия почвы;
- 3) исключить загрязнение удобрениями, агрохимикатами водоемов, грунтовых вод и т.д., обеспечить охрану окружающей среды.

В XX веке использовались два основных направления в расчетах доз удобрений. Первое направление основывается на результатах полевых опытов, проведенных в конкретных условиях на типичных для этого региона почвах, в которые после уточнения агрохимического состава почвы вносятся соответствующие поправки к вносимым нормам удобрений. Это направление было обосновано работами Д.Н. Прянишникова, А.В. Соколова, С.В. Щербы, П.Г. Найдина, А.Г. Дояренко и других ученых. С одной стороны при внесении соответствующих поправок удается избежать грубых ошибок, однако не всегда возможно добиться максимального эффекта от вносимых удобрений, поскольку не учитывается действительно возможный уровень урожайности по лимитирующему фактору – влагообеспеченности, недостаточный учет и эффективного плодородия почвы. Средние нормы используемых удобрений устанавливаются чисто эмпирическим путем, поскольку для определения оптимального количества азота, фосфора и калия, необходимого определенной культуре, потребуется поставить опыт с огромным количеством вариантов с учетом разных уровней эффективного плодородия почвы и влагообеспеченности посевов и др.

Второе направление предусматривает расчет доз удобрений, исходя из потребности в питательных веществах под программируемый уровень урожайности, с учетом выноса питательных веществ с основной и побочной продукцией, наличия в почве доступных азота, фосфора, калия. Также с учетом коэффициентов использования элементов питания из почвы и из удобрений, при этом учитывается последействие органических и минеральных удобрений и накопленных корневых и пожнивных остатков. По мнению крупнейших ведущих агрохимиков современности (Б.А. Ягодин, П.М. Смирнов, А.В. Петербургский, В.А. Демин и др., 1989; З.И. Журбицкий, 1971; Г.В. Листопад, 1975; А.С. Радов, 1974; И.И. Синягин, 1968 и др.), при расчете доз удобрений следует исходить из понятий: оптимальная, рациональная и предельная доза минеральных удобрений.

Оптимальная это доза, обеспечивающая получение высокого урожая хорошего качества при максимальном уровне чистого дохода с 1 га при условии постепенного повышения или сохранения оптимального уровня плодородия почвы за ротацию севооборота.

Рациональная это доза, которая при сложившихся организационно-хозяйственных условиях производства позволяет получить возможно высокий выход продукции хорошего и удовлетворительного качества с 1 га пашни и интенсивно повышать плодородие почвы при обязательном экономическом эффекте от применения удобрений.

Предельная это доза, которая обеспечивает максимально возможный уровень урожайности допустимого качества при условии, как минимум, самоокупаемости удобрений, что возможно, безусловно, при наличии в хозяйстве средств на приобретение и внесение этого количества удобрений.

Хозяйство в зависимости от его экономического состояния может применять тот или иной уровень вносимых доз удобрений, однако

предпочтительны первые два – рациональная и оптимальная, однако с точки зрения экономического эффекта и окупаемости вносимых доз целесообразно применение рациональных доз удобрений. Крупнейший агрохимик современности В.Г. Минеев (1990) считает, что «получение высоких урожаев от освоения прогрессивных (интенсивных) технологий и есть форма реализации программирования урожаев в производственных условиях.

Важно только активно переходить к реализации программирования урожаев во всем комплексе научной системы земледелия, а не отдельных ее звеньев». Он, а также и другие агрохимики (Б.А. Ягодин, 1989; К.П. Афендулов, А.И. Лантухова, 1978), утверждали, что при расчете доз удобрений под планируемый урожай культур чаще всего используется метод балансового расчета по выносу питательных элементов всем запланированным урожаем, поскольку в нем отражены все статьи прихода и расхода всех питательных веществ. Многие широко известные агрохимики современности – В.Г. Минеев (1990), Б.А. Ягодин, В. А. Демин и др. (1989), К.П. Афендулов, А.И. Лантухова и др. (1978), подразделили методы определения доз удобрений под сельскохозяйственные культуры на три основные группы:

Для первой группы метод основан на прямом использовании результатов полевых опытов и агрохимических картограмм. Вторая группа базируется на расчетном методе (балансовым или расчетно-балансовым). Третья группа это комплексный метод (сочетании 1 -й и 2 -й групп методов).

Если в XIX и XX столетиях в странах Западной Европы, России и на территории постсоветского пространства применяли преимущественно первую группу методов расчета, то последние 40-50 лет наиболее широкое распространение стала приобретать вторая группа методов.

## 2.2. Классификация расчетной (балансовой) группы методов определения доз удобрений

Расчетная (балансовая) группа методов определения доз удобрений на планируемую (программируемую) урожайность включает, в свою очередь, несколько модификаций (Б. А. Ягодин, В.А. Демин и др., 1989; В.Г. Минеев, 1990). Так, из них наиболее широко применямы:

- а) метод элементарного баланса;
- б) на планируемую прибавку урожая;
- в) метод нормативного баланса.

В расходной части баланса при использовании расчетно-балансовой группы методов (модификация «а» и «б») учитывается вынос питательных веществ, с планируемым (программируемым) урожаем, основанный на том, что с каждой единицей продукции (зерно, сухое вещество) выносится определенное количество единиц питательных веществ (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O). (В странах Западной Европы, в частности, в Германии, учитывается, кроме того,

и вынос MgO). В приходной части баланса учитывается содержание доступных питательных веществ в почве, доза внесенных удобрений и поправки на проценты их использования (коэффициенты выноса питательных веществ из почвы и удобрений), которые зависят от уровня влагообеспеченности почвы в течение вегетационного периода и технологии возделывания культуры. Таким образом, существует несколько методик расчета доз удобрений, однако в основу всех их положены данные по выносу питательных веществ и коэффициенты использования их из почвы и из удобрений. М.К. Каюмов (1989) внес дополнения к этой классификации и условно подразделил методы расчета на 4 группы по следующим признакам:

1. Под запланированный урожай по выносу питательных веществ с учетом эффективного плодородия почв и использования элементов питания из вносимых туков. (Эта методика нашла наиболее широкое распространение).
2. На планируемую прибавку, когда известны величины урожая без внесения удобрений, т.е. потенциально возможные урожаи за счет эффективного плодородия почвы.
3. По показателям первой и второй групп, но с учетом дальнейшего повышения плодородия почвы.
4. По балльной шкале оценок почв – цена одного балла в продукции определенной культуры и возможной прибавки от удобрений.

Перед нами не стоит задача давать критический анализ всем этим методам – они достаточно полно разобраны в работах таких ученых, как К.П. Афендулова и А.И. Лантуховой (1973), М.К. Каюмова (1977, 1989), Г.А. Ненайденко (1980) и др.

Подробнее рассмотрим из вышеперечисленных первый метод – метод элементарного баланса, который, в свою очередь, подразделяется на интенсивный, экстенсивный и бездефицитный.

Интенсивный (положительный) – поступление элементов питания растений в почву превышает их вынос с урожаем и потерю из почвы и удобрений.

Экстенсивный (отрицательный или дефицитный) – вынос с урожаем и потери элементов питания превышают их поступление в почву.

Бездефицитный (нулевой) – статьи прихода и расхода и элементов питания равновелики.

В этом методе используют справочные данные по выносу питательных веществ на единицу основной продукции урожая (на 1 тонну или на 10 т) с учетом побочной, коэффициенты использования питательных веществ растениями из почвы, удобрений и пожнивно-корневых остатков (обычно бобовых культур). Недостающая часть питательных веществ почвы для создания планируемого урожая восполняется внесением органических и минеральных удобрений. Коэффициенты, которые можно использовать для расчета доз удобрений, даны в таблицах 2.2, 2.3, 2.4. Последействие удобрений отражено в таблице 2.5.

Таблица 2.2

Использование щелочно-гидролизуемого азота (по Корнфильду) из почвы, %

Культуры	При умеренном увлажнении	При обильных осадках и орошении
Озимые по чистым парам	35-40	40-50
По занятых парам	25-30	35-40
Яровые зерновые, зернобобовые	20-25	25-35
Картофель, кукуруза, сахарная свекла, кормовые корнеплоды, травы	30-35	40-50

Таблица 2.3

Использование запасов подвижного фосфора из почвы, %

Культуры	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> по Кирсанову и Чирикову (мг/1000 г почвы)				
	50	50-100	110-150	160-200	210-250
Зерновые	10	8	7	6	5
Пропашные, травы	15	14	12	10	8

Примечание. На карбонатных черноземах, где P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> определяется по методу Мачигина, коэффициенты усвоения для соответствующих групп почв по степени обеспеченности увеличиваются в 1,5 раза.

Таблица 2.4

Использование запасов обменного калия из почвы, %

мг на 1000 г почвы	Зерновые	Пропашные, травы
Ниже 80	По Кирсанову 20	40
80-120	15	30
120-170	13	26
170-240	10	20
240 и более	9	17
	По Чирикову	
Ниже 30	30	50
30-50	25	45
50-80	20	40
80-120	15	30
120-180	13	25
Больше 180	10	20

Таблица 2.5

## Использование питательных веществ растениями из удобрений, %

Год действия	Из минеральных удобрений			Из органических удобрений		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Первый	50-70	20-25	50-70	25-30	30-40	50-60
Второй	5	10-15	20	20	10-15	10-15
Третий	5	5	-	10	5	-

Таблица 2.6

Вынос питательных веществ с урожаем в Республике Татарстан (в кг)  
в расчете на 1 т основной продукции  
при соответствующем количестве побочной

Культуры	Вид продукции	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Соотношение зерно : солома
Рожь озимая	Зерно	30	12	25	1:1,5
Пшеница озимая	-«-	37	13	23	1:2,0
Пшеница яровая	-«-	35	12	25	1:1,5
Овес	-«-	29	14	29	1:1,5
Ячмень	-«-	25	11	22	1:1,4
Просо	-«-	33	10	34	1:1,8
Гречиха	-«-	44	30	75	1:4
Горох	-«-	66*	20	25-30	1:1,5
Вика	-«-	65	25	45	1:1,2
Сахарная свекла	Корнеплоды	5,9	1,8	7,5	1:1,0
Картофель поздний	Клубни	6,0	2,0	8,0	1:1,0
Картофель ранний	-«-	5,0	1,5	7,0	-
Кукуруза	Зелен. масса	3,6	1,0	3,8	-
Суданская трава	-«-	4,0	1,1	3,0	-
Сорго сахарное	-«-	2,5	1,4	2,0	-
Кормовая свекла	Корнеплоды	3,5-4	1,1-1,5	4,2-4,5	-
Клевер	Сено	19,7	5,6	15,0	-
Люцерна	-«-	26	6,5	15,0	-
Тимофеевка	-«-	15,5	7,0	34,0	-
Культурные пастбища	Зел. корма	0,3	0,1	0,5	-
Травосмесь	Сено	22	6-7	20	-
Рапс, сурепица	Семена	60	30	50	-
Рапс, сурепица	Зел. масса	45	15	50	-

Горчица	Семена	70	30	60	-
---------	--------	----	----	----	---

\*При программировании урожайности гороха в расчет закладывается 22 кг на тонну зерновой продукции, так как 2/3 своей потребности в азоте культура в нормальных условиях удовлетворяет за счет атмосферы.

Рассмотрим метод элементарного баланса на конкретном примере.

Планируется получить урожай картофеля 20 т с 1 га на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. По картограмме двухлетней давности в почве содержится 50...100 мг Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 80...120 мг К<sub>2</sub>O на 1000 г почвы (по методу Кирсанова). Намечается внести органических удобрений 30 т на 1 га. По данным агрохимического анализа, в них содержится 0,3% N, 0,15% Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 0,4% К<sub>2</sub>O.

Картофель выращивается в звене севооборота: ячмень + многолетние травы, травы 1-го года пользования, травы 2-го года пользования, озимая пшеница, картофель. Под ячмень было внесено N<sub>80</sub>P<sub>160</sub>K<sub>180</sub> (с учетом обеспеченности фосфором и калием многолетних трав), под озимую пшеницу – N<sub>50</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>. Ежегодный урожай сена многолетних трав составил 4 т с 1 га.

Учитывая эти данные, необходимо определить дозу минеральных удобрений под планируемый урожай картофеля.

10 т клубней картофеля вместе с ботвой выносят 60 кг N, 20 кг Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 80 кг К<sub>2</sub>O (табл. 2.6). Следовательно, с урожаем в 20 т будет вынесено 120 кг N, 40 кг Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 160 кг К<sub>2</sub>O.

Поскольку последействие удобрений на практике обычно учитывается не более двух лет, то в примере определяется только последействие от удобрений, внесенных под озимую пшеницу. Если бы данные агрохимического анализа почвы по содержанию подвижного фосфора и калия были текущего года (чего практически не бывает), то последействие фосфора и калия ранее внесенных удобрений на картофель не надо было учитывать. Последействие азота органических удобрений и пожнивно-корневых остатков бобовых должно учитываться во всех случаях, так как картограмму содержания подвижных соединений азота в почве не составляют.

В примере общий урожай сена клевера с тимофеевкой за 2 года составил 8 т с 1 га. Как показывают исследования, 1 т сена оставляет после себя в виде пожнивно-корневых остатков 10...15 кг на 1 га азота. Следовательно, в корневых и пожнивных остатках многолетних трав на 1 га будет содержаться примерно 120 кг азота. Первая культура после трав (в данном случае озимая пшеница) может использовать около 25% азота из пожнивно-корневых остатков, или 30 кг, вторая культура (картофель) – примерно 15% азота, или 18 кг.

Использование из почвы питательных веществ определяется так. Почва содержит (по картограмме) в среднем 70 мг Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 100 мг К<sub>2</sub>O на 1000 г почвы. Следовательно, в пахотном слое на 1 га содержится 210 кг Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 300

кг К<sub>2</sub>O. Для пересчета на 1 га показатели щелочно-гидролизуемого азота, Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и К<sub>2</sub>O в мг на 1000 г почвы умножают, с учетом глубины пахотного слоя и гранулометрического состава почвы, на коэффициенты, указанные в таблице 2.7. Картофель сможет усвоить из почвы примерно 8% подвижного фосфора (17 кг Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и 17% обменного калия (51 кг К<sub>2</sub>O) (табл. 2.3 и 2.4).

Таблица 2.7  
Коэффициенты перевода питательных веществ  
из мг на 1000 г почвы в кг на 1 га.

Гранулометрический состав	Пахотный слой, см			
	0 – 22	0 – 25	0 – 28	0 – 30
Суглинистый	2,6	3,0	3,4	3,6
Супесчаный	2,8	3,2	3,6	3,9
Песчаный	3,0	3,5	3,9	4,2

Труднее определить использование азота из почвы. Это можно сделать двумя способами.

1-й способ – определение выноса азота по элементу, находящемуся в минимуме в почве после азота. Так, на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в первом минимуме находится азот, во втором, как правило, фосфор. Фосфора используется из почвы 17 кг, что может обеспечить урожай картофеля 8,5 т с 1 га (вынос Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на 1 т клубней вместе с ботвой составляет 2 кг). Если бы почва была дерново-подзолистая супесчаная или песчаная, где во втором минимуме находится калий, то возможный урожай следовало определять по калию. С урожаем клубней 8,5 т с 1 га будет использовано из почвы 51 кг азота, так как 10 т клубней вместе с ботвой выносят, по справочным данным, 60 кг азота.

2-ой способ – определение использования азота почвы по примерному содержанию в ней легкогидролизуемого азота. Если нет данных агрохимического анализа, то можно примерно считать, что связные дерново-подзолистые почвы среднего плодородия содержат 40...60 мг легкогидролизуемого азота, повышенного плодородия – 60...80 мг, высокого – 80...100 мг на 1000 г почвы. В данном примере 1000 г почвы содержат приблизительно 50 мг легкогидролизуемого азота. Это составляет 150 кг азота в пахотном слое на 1 га (50 мг х 3). Из почвы картофель сможет использовать около 33% легкогидролизуемого азота, или 49,5 кг.

Весь ход расчета годовой нормы минеральных удобрений под картофель можно представить в виде следующей схемы.

Показатели	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Вынос питательных веществ планируемым урожаем 20 т с 1 га (в кг) .....	120	40	160
Последействие ранее внесенных минеральных удобрений (N <sub>50</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub> ) (в кг) .....	-	8 (10%)	16 (20%)
Последействие по азоту пожнивно-корневых остатков многолетних трав (в кг) .....	18	-	-
Используется питательных веществ из почвы (в кг) .....	51	17	51
С 30 т органических удобрений на 1 га вносятся питательных веществ (в кг) .....	90	45	120
Коэффициенты использования питательных веществ в 1-й год из органических удобрений (в %) .....	27	35	55
Используется питательных веществ в 1-й год из внесенных органических удобрений (в кг) .....	24	16	66
Требуется питательных веществ минеральных удобрений (в кг) .....	27	7	43
Коэффициенты использования питательных веществ растениями в 1-й год из минеральных удобрений (в %) .....	60	20	60
С учетом коэффициентов использования следует внести с минеральными удобрениями (в кг на 1 га) .....	45	35	72

Расчетные дозы обычно округляются с точностью до 5 или 10 кг.

Вычисленные дозы питательных веществ для внесения с минеральными удобрениями можно пересчитать на физические тики:

$$\text{аммиачная селитра} = \frac{45*100}{34} = 132 \text{ кг, или } 0,13 \text{ т на 1 га,}$$

где 34 – содержание азота в аммиачной селитре (в %);

$$\text{простой суперфосфат} = \frac{35*100}{20} = 175 \text{ кг, или } 0,18 \text{ т на 1 га;}$$

$$\text{хлористый калий} = \frac{72*100}{60} = 120 \text{ кг, или } 0,12 \text{ т на 1 га.}$$

Определение доз минеральных удобрений на планируемую прибавку урожая. Принцип метода заключается в следующем. Зная урожай культуры в данных почвенно-климатических условиях на неудобренном фоне (по результатам опытов агрохимслужбы), определяют прибавку урожая от применения органических и минеральных удобрений. Установленные дозы

минеральных удобрений корректируются по содержанию в почве подвижных питательных веществ с использованием соответствующих поправочных коэффициентов (табл. 2.8).

Таблица 2.8  
Поправочные коэффициенты к дозам удобрений с учетом содержания подвижных форм фосфора и калия в почве

Содержание в почве питательных веществ по картограмме	Зерновые культуры, травы, лен, пропашные	Овощные культуры
Азотные удобрения		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
Очень низкое	1,2	-
Низкое	1,1	1,2
Среднее	1,0	1,1
Повышенное	0,9	1,0
Высокое	0,8	0,9
Очень высокое	0,7	0,8
Фосфорные и калийные удобрения		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> или K <sub>2</sub> O		
Очень низкое	1,5	-
Низкое	1,2...1,3	1,5
Среднее	1,0	1,2...1,3
Повышенное	0,7...0,8	1,0
Высокое	0,4...0,6	0,7...0,8
Очень высокое	0,1...0,3	0,4...0,6

Рассмотрим метод определения доз минеральных удобрений на предыдущем примере. Урожай картофеля без удобрений 5 т с 1 га. Планируемая прибавка 15 т на 1 га. Вынос питательных веществ на 10 т клубней вместе с ботвой составляет (по справочным данным) 60 кг N, 20 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 80 кг K<sub>2</sub>O. Расчет ведется по следующей схеме.

Показатели	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Вынос питательных веществ на планируемую прибавку урожая 15 т с 1 га (в кг) ...	90	30	120
Последействие ранее внесенных минеральных удобрений (N <sub>50</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub> ) (в кг) .....	-	8 (10%)	16 (20%)
Последействие по азоту пожнивно-корневых остатков многолетних трав (в кг) .....	18	-	-
Используется питательных веществ в 1-й год из 30 т органических удобрений (в кг) ...	24	16	66
Требуется питательных веществ минеральных удобрений (в кг) .....	48	6	38
Коэффициенты использования питательных ве-			

ществ растениями в 1-й год из минеральных удобрений (в %) .....	60	20	60
С учетом коэффициентов использования следует внести с минеральными удобрениями (в кг на 1 га) .....	80	30	63
С учетом корректировки почвенного плодородия (табл. 2.8) следует внести (в кг) .....	80*1=80	30*1=30	63*1=63

Определение доз минеральных удобрений с использованием нормативов баланса питательных веществ за севооборот. Баланс питательных веществ в почве состоит из приходной и расходной частей. В приходную часть баланса входит поступление питательных веществ в почву с удобрениями, семенами и из атмосферы (в том числе азот клубеньковых бактерий бобовых культур и свободноживущих бактерий-азотфиксаторов). В расходную часть включается вынос питательных веществ с увозимым с поля урожаем, потери элементов питания из почвы и удобрений с поверхностным стоком воды, вымывания (инфилтрации), газообразные потери (например, азота в результате денитрификации). Метод нормативного баланса более сложен, применение его в производственных условиях в полном объеме затруднено, потому практикуется обычно при постановке специальных балансовых опытов для углубленного и детального изучения всех элементов баланса.

Различают полный, или экологический, баланс (его еще иногда называют биологическим), учитывающий все статьи прихода и расхода элементов питания, и упрощенный, или хозяйственный, баланс, предусматривающий только поступление питательных веществ в почву с удобрениями и дополнительного количества азота от бобовых культур (оставленного ими в почве сверх выноса с урожаем) в сопоставлении с выносом урожаем и возможными потерями из удобрений. В хозяйственном балансе другие статьи прихода питательных веществ (с осадками, семенами, азота от свободноживущих бактерий-азотфиксаторов) и расхода (потери элементов питания из почвы) не учитываются, так как в итоге они принимаются равными. Баланс может быть: интенсивный (положительный), если поступление питательных веществ в почву превышает вынос с урожаем и потери из почвы и удобрений; экстенсивный (отрицательный, или дефицитный), если вынос и потери превышают поступление в почву; бездефицитный (нулевой), если статьи прихода и расхода элементов питания равновелики.

В сельскохозяйственной практике при составлении системы применения удобрений в севообороте обычно пользуются хозяйственным балансом. Его можно выражать по каждому из элементов питания в относительных цифрах (в процентах к выносу с урожаем) и в абсолютных (в килограммах на гектар).

Изменение показателей баланса в динамике определяется термином «изменение интенсивности баланса».

Процентное (или долевое) участие отдельных статей прихода и расхода питательных веществ в балансе составляет его структуру. В основу данного метода положен баланс питательных веществ за ротацию севооборота. В таблице 2.9 приводятся примерные нормативы баланса питательных веществ для дерново-подзолистых и серых лесных почв. Можно пользоваться также обратной величиной цифр нормативов баланса – коэффициентом выноса питательных веществ из почвы и удобрений с урожаем (табл. 2.9).

В литературе относительный баланс, выражаемый в процентах к выносу, или интенсивность баланса (норматив баланса), иногда называют коэффициентами возмещения или коэффициентами возврата и выражают десятичной дробью. Например, если норматив баланса (относительный баланс) по азоту 120%, а по фосфору 200%, то в переводе на коэффициент возмещения (или возврата) это будет 1,2 и 2,0 соответственно. Коэффициент выноса питательных веществ иногда называют также балансовым коэффициентом. Он показывает, какую часть (в процентах) составляет вынос питательных веществ с урожаем от их количества, внесенного с удобрениями. Определяют его обычно за ротацию севооборота. Например, если этот коэффициент по какому-либо из элементов питания равен 100, то, следовательно, поступление питательного вещества с удобрениями и вынос его с урожаями компенсируют друг друга. Если же он меньше или больше 100, то поступление элемента питания с удобрениями соответственно превышает или не возмещает вынос его с урожаями.

Таблица 2.9

Примерные нормативы баланса питательных веществ за севооборот  
(в % от выноса с урожаем)

и коэффициенты выноса питательных веществ с урожаем  
(в % от питательных веществ внесенных удобрений)

в зависимости от содержания элементов питания  
в дерново-подзолистых и серых лесных почвах

Класс почв	Содержание в почве подвижных фосфора и калия	Внесение питательных веществ с удобрениями за севооборот (в % от выноса с урожаем)			Коэффициенты выноса питательных веществ с урожаем (в %)		
		N*	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N*	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1...2	Очень низкое и низкое	120-130	200-250	130-150	85-75	50-40	80-65
3	Среднее	120-130	170-200	110-130	85-75	60-50	90-80
4	Повышенное	110-120	140-170	80-100	90-85	70-60	125-100
5	Высокое	100-110	100-140	60-80	100-90	100-70	170-125
6	Очень высокое	80-100	70-100	40-60	125-100	140-100	250-170

\*В зависимости от содержания подвижного фосфора в почве.

При разработке данных нормативов баланса исходят из того, что для поддержания прежнего уровня азота, фосфора, калия в почве достаточно

внести с органическими и минеральными удобрениями 120...130% азота, 100% фосфора и 100% калия от выноса с урожаем. Указанные в таблице 2.9 нормативы баланса направлены на поддержание в почве азота на среднем или повышенном уровне, фосфора на высоком и калия на повышенном. Величины баланса и коэффициенты выноса питательных веществ за ротацию севооборота дают перспективу регулирования плодородия почвы (повышения или поддержания его на определенном уровне), позволяют агроному творчески подходить к использованию земельных ресурсов.

В данном случае приходится также пользоваться коэффициентами распределения питательных веществ по годам (обычно берется не более трех лет). Эти коэффициенты (табл. 2.10) являются производными от коэффициентов использования питательных веществ из удобрений. В сумме за 3 года величина каждого элемента питания выражается как 100%.

Таблица 2.10

Примерные коэффициенты распределения питательных веществ удобрений и азота пожнивно-корневых остатков бобовых культур (в %)

Год действия удобрений	Органические удобрения			Минеральные удобрения			Азот пожнивно-корневых остатков бобовых культур
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
1-й	40	65	80	100	55	70	50
2-й	40	25	20	-	30	30	30
3-й	20	10	-	-	15	-	20
Всего	100	100	100	100	100	100	100

Рассмотрим данный метод определения доз минеральных удобрений на планируемый урожай картофеля в 20 т с 1 га при тех же условиях его выращивания, как и в предыдущих методах.

Показатели	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Вынос питательных веществ с планируемым урожаем (в кг) .....	120	40	160
Баланс питательных веществ за севооборот (в % от выноса) .....	130	200	120
или коэффициенты выноса (в %) .....	75	50	85
С учетом поправок на баланс или на коэффициенты выноса требуется всего питательных веществ удобрений на планируемый урожай (в кг на 1 га) .....	$\frac{120*130}{100} = 156$	80	192
или			
	$\frac{120*100}{75} = 160$	80	188

(При обоих способах поправок получены практически одинаковые результаты)

Последействие пожнивно-корневых остатков многолетних трав (в них содержится на 1 га около 120 кг азота) (в кг) .....	36	-	-
Последействие минеральных удобрений (N50P80K80) (см. табл. 2.10) (в кг) .....	-	24	24
Действие 30 т органических удобрений (N90P45K120) в 1-й год (см. табл. 2.10) (в кг) .....	36	29	96
Требуется питательных веществ за счет минеральных удобрений (в кг) .....	156-72=84	80-53=27	192-120=72
Коэффициенты распределения в 1-й год (в %) .....	100	55	70
С учетом коэффициентов распределения следует внести с минеральными удобрениями (в кг на 1 га) .....	$\frac{84*100}{100} = 84$	$\frac{27*100}{55} = 50$	$\frac{72*100}{70} = 103$

При низкой обеспеченности минеральными и органическими удобрениями на почвах, богатых гумусом, а также в засушливой зоне (где эффективность минеральных удобрений очень низкая) балансы азота, фосфора и калия складываются иначе.

К каждому методу определения доз удобрений надо подходить творчески, а правильность установления доз под отдельные культуры в севообороте контролировать балансом питательных веществ за ротацию, который позволяет судить о возможном урожае и перспективе изменения почвенного плодородия.

### 2.3. Методика расчета коэффициентов использования доступных питательных веществ из почвы и удобрений

Многочисленными полевыми исследованиями установлено, что из доступного количества питательных веществ, содержащихся в почве, зерновые культуры используют ежегодно в среднем до 5-10% – фосфора, до 9-20% – калия и до 20-25% – легкогидролизуемого азота, при хорошем естественном увлажнении и орошении коэффициенты использования питательных веществ, как почвы, так и удобрений повышаются (табл. 2.2-2.4). Более точные коэффициенты выноса питательных веществ можно получить при проведении полевых опытов в каждой конкретной зоне, хозяйстве, почве, для определенной культуры, которые будут зависеть от условий увлажнения и уровня агротехники. В производственных условиях и полевых опытах коэффициенты использования растениями NPK из почвы и удобрений можно определить, вычислив вынос питательных веществ с урожаем на участках той или иной культуры без внесения удобрений и при

внесении удобрений. Расчет производится по формулам, которые выводятся из приведенного ранее баланса:

$$K_p = \frac{B1 * Y * 100}{P1 * K_m},$$

$$K_y = \frac{B1 * Y * 100}{D},$$

где  $K_p$  – коэффициент использования питательного элемента из почвы, %;

$B1 * Y$  – вынос питательного вещества с урожаем на участке без удобрений, кг/га;

$P1 * K_m$  – содержание питательного вещества в почве (показатель картограммы, умноженный на 30), кг/га;

$K_y$  – коэффициент использования питательного вещества из внесенного удобрения, %;

$B1 * Y$  – вынос питательных веществ с прибавкой урожая, где  $Y$  – прибавка урожая от внесенных в опыте удобрений (при расчете  $K_y$ );

$D$  – доза действующего вещества элемента питания, внесенного с удобрениями, кг/га.

Коэффициент выноса питательных веществ из почвы ( $K_p$  представляет из себя отношение вынесенного с урожаем одного из элементов питательных веществ (кг/га) к количеству содержащихся доступных питательных веществ в пахотном горизонте почвы (кг/га), выраженное в процентах.

Коэффициент выноса питательных веществ из удобрений ( $K_y$ ) представляет из себя отношение количества питательных веществ, вынесенных с полученной прибавкой урожая от внесенного действующего вещества удобрения (кг/га) к количеству внесенной дозы удобрений в кг/га действующего вещества, выраженное в процентах. Поскольку в справочной литературе рецептов для всех частных случаев, отдельных хозяйств, полей и культур получить невозможно, подобные расчеты позволяют уточнить величины коэффициентов выноса питательных веществ и на этом основании делать более обоснованные расчеты доз удобрений в условиях хозяйства.

#### 2.4. Основные законы земледелия и растениеводства, учитываемые при оценке обеспеченности растений факторами внешней среды и расчете доз удобрений

Для разработки систем агротехнических мероприятий, которые обеспечили бы получение программируемых урожаев, необходимо руководствоваться основными законами земледелия и растениеводства. При этом наибольшее значение имеют законы равнозначимости и незаменимости

факторов жизни растений, закон возврата, закон минимума, закон совокупного, а не изолированного действия факторов жизни и ряд других.

Закон возврата питательных веществ требует ежегодно или периодически возврат питательных веществ не меньше количества выносимого из нее с урожаем сельскохозяйственных культур. В севооборотах без применения органических и минеральных удобрений под зерновыми культурами и картофелем обычно складывается отрицательный баланс по азоту, фосфору и калию. В севооборотах с многолетними травами с использованием обычно рекомендуемых доз органических и минеральных удобрений отмечается положительный баланс по азоту, фосфору. В тех же севооборотах, в том числе и специализированных кормовых, положительный баланс основных элементов питания отмечался при внесении расчетных доз органических и минеральных удобрений под программируемый урожай. Таким образом, речь идет не о простом соблюдении закона возврата питательных веществ, а о применении такого количества органических и минеральных удобрений, которое обеспечило бы получение высоких урожаев полевых культур при одновременном увеличении запасов в почве азота, фосфора и калия.

Закон равнозначности и незаменимости факторов свидетельствует о том, что ни один фактор жизни растений нельзя полностью исключить или заменить другим, поскольку в том и другом случае гибель растений неизбежна (например, вода не может быть заменена пищей или теплом и наоборот).

Закон минимума в формулировке Ю. Либиха для элементов питания гласит о том, что каждое поле содержит одно или несколько питательных веществ в минимуме и одно или несколько в максимуме, а урожайность находится в зависимости от вещества, находящегося в минимуме, которое управляет урожаем и определяет его величину и устойчивость во времени. В последующие годы опытами, проведенными Г. Гельригелем, Ю. Саксом, Э. Вольни и другими, доказано, что закон минимума применим ко всем факторам жизни растений (вода, тепло, свет, пища и др.).

Закон максимума проявляется при широком использовании органических и минеральных удобрений, которое приводит к ограничивающему действию фактора, находящегося в максимуме, а при избытке фактора против оптимальной потребности будет сдерживаться рост урожайности. С проявлением этого закона приходится сталкиваться при необоснованном внесении удобрений без учета содержания элементов питания в почве и выноса их с урожаем. Закон максимума проявляется при необоснованно завышенных нормах высева семян, а на орошаемых землях при нарушении режима полива и при отсутствии увязки с критическими фазами растений к воде.

Закон оптимума может быть реализован при применении расчетных доз удобрений и оросительных норм под планируемую урожайность с учетом

потребности растений в этих факторах, то есть оптимизации регулируемых факторов.

Закона плодосмена это чередование культур в пространстве и во времени позволяет более рационально распределять удобрения между культурами, осуществлять более эффективно систему обработки почвы и борьбу с сорняками, а чередование культур, относящихся к различным биологическим группам с введением в севооборот многолетних трав, способствует повышению урожайности и сохранению плодородия почвы. Применительно к каждому полю севооборота необходимо разработать систему мероприятий (агротехнических, химических, биологических) по борьбе с сорняками, вредителями и болезнями. Среди других факторов, препятствующих прогрессивному росту урожайности, можно назвать низкие посевные качества семенного материала, а как следствие – изреженность посевов, низкое качество обработки почвы и нарушение оптимальных сроков проведения полевых работ и др.

Биологическим законом растениеводства необходимо считать критический период по отношению к факторам жизни, который предусматривает необходимость обеспечения растений в этот период факторами жизни в необходимых количествах за счет применения соответствующих агротехнических приемов, в частности, планирование сроков посева, поливов, подкормок минеральными удобрениями, уходов за посевами и др. и их проведение.

Критический период у многих полевых культур возникает после всходов по отношению к фосфору, а фосфорное голодание в этой фазе (особенно у кукурузы и других сельскохозяйственных культур) резко снижает величину будущего урожая и это невозможно исправить улучшением фосфорного питания на последующих фазах; у зерновых культур на третьем-четвертом этапах органогенеза проявляется по отношению к азоту, а дефицит азота отрицательно влияет на количество закладывающихся колосковых бугорков в зародыше колоса или метелки, здесь также последующее улучшение азотного питания уже не исправляет этого отрицательного воздействия. По отношению к влаге критический период у всех сельскохозяйственных культур проявляется в разные фазы вегетации, например, при попадании зерновых культур под засуху за 10-15 дней до вымётывания или выколашивания, урожайность их снижается; у зернобобовых культур этот период растянут и приходится на фазы бутонизации – цветения. Задача заключается в том, чтобы агротехническими приемами в критические периоды развития растений улучшить обеспечение растений теми необходимыми факторами, как элементами питания и влагой с тем, чтобы по возможности снизить отрицательное воздействие фактора, влияющего на снижение урожайности. Этот закон следует учитывать в условиях неустойчивого земледелия при определении сроков посева культур, в частности, пшеницы, ячменя, овса и ряда других, чтобы критический период по отношению к влаге по возможности совпал со среднемноголетним

максимумом выпадающих осадков. Эффективное ведение отрасли растениеводства в зоне неустойчивого земледелия требует применения технологии возделывания культур с расчетом наиболее рационального использования летних осадков и накопления влаги в почве в осенне-зимний периоды, а также формирование посевов с оптимальной для конкретных условий густотой стеблестоя. Интенсивные технологии полностью базируются на программировании урожаев, а разработка и внедрение этих технологий возделывания культур немыслимы без применения всего комплекса или отдельных его элементов.

## 2.5. Методика расчета уровня урожайности сельскохозяйственных культур по эффективному плодородию

Пользуясь приведенными выше материалами, можно рассчитать по уровню эффективного плодородия почвы потенциальные возможности ее ДВУ без внесения удобрений. Расчеты можно проводить по формуле, выведенной из баланса, приведенного ранее, в числителе которой количество доступных растениям питательных веществ в пахотном горизонте почвы:

$$\Pi_1 * K_m * K_p, \text{ кг/га},$$

в знаменателе – вынос питательных веществ каждой единицей продукции,  $B_1$ , кг/т.

$$Y = \frac{\Pi_1 * K_m * K_p}{B_1 * 10},$$

где  $Y$  (ДВУ) – урожайность потенциальная или действительно возможная по содержанию доступных элементов минерального питания, т/га.

Пользуясь этой методикой, можно прогнозировать и ожидаемую прибавку урожая от внесенных в почву минеральных и органических удобрений с учетом коэффициентов использования питательных веществ из внесенных удобрений и выноса питательных веществ на 1 т продукции. Пример расчета урожайности ячменя. Согласно материалам картограммы содержание элементов питания в почве (в мг/1000 г почвы): азота – 70, фосфора – 120, калия – 160. Пересчитаем эти показатели в кг на 1 гектар пахотного слоя путем умножения на коэффициент 3, получим: азота – 210, фосфора – 360, калия – 480 кг/га, из которых растениями будет использовано: азота – 25%, фосфора – 7%, калия – 13%, или соответственно 52,5; 25,2 и 62,4 кг. Для формирования 1 т зерна ячменя и соответствующего количества побочной продукции требуется: азота – 25 кг, фосфора – 11, калия – 22. Поделив количество питательных веществ, выносимых из почвы, на эти показатели, получим уровень урожайности по азоту –  $52,5:25=2,1$  т/га; по фосфору –  $25,2:11=2,3$  т/га и по калию –  $62,4:22=2,8$  т/га. В соответствии с

законом минимума уровень урожайности может быть в данном случае 2,1 т/га.

## 2.6. Приемы оптимизации плодородия почв

На основании экспериментальных материалов научно-исследовательских учреждений в стационарных опытах с удобрениями в Географической сети были даны рекомендации по применению методики оптимизации плодородия почвы по агрохимическим и агрофизическим показателям на планируемую высокую ее продуктивность. Показатели плодородия почвы являются оптимальными в том случае, если они обеспечивают формирование высокого планируемого урожая и качества продукции всех культур севооборота, а оптимальные параметры должны соответствовать биологическим требованиям всех культур севооборота и способствовать реализации их потенциальной продуктивности (В.Г. Минеев, 1990). Оптимизация плодородия предусматривает учет агрофизических, агрохимических и физико-химических свойств почвы:

Агрофизические свойства: учитывается пахотный слой, см; плотность почвы, г/см<sup>3</sup>; пористость общая, %; влажность, % от массы; водопрочные агрегаты 0,25 мм, %.

Агрохимические и физико-химические – гумус, % и т/га; азот, % и т/га; фосфор подвижный, мг/кг почвы; калий обменный, мг/кг почвы. По данным В.Г. Минеева (1990), для черноземов обыкновенных эти показатели должны соответствовать следующим параметрам:

1. Агрофизические свойства почвы:
  - а) пахотный слой, см – 35;
  - б) плотность, г/см<sup>3</sup> – 1,10;
  - в) пористость общая, % - 59;
  - г) влагоемкость, % от массы – 30;
  - д) водопрочные агрегаты 0,25 мм, % - 60.

2. Агрохимические и физико-химические свойства почвы:
  - а) гумус, % - 7,0, т/га – 270;
  - б) азот, % - 0,30, т/га – 12,0;
  - в) фосфор подвижный, мг/кг почвы – 200;
  - г) калий обменный, мг/кг почвы – 350.

В Республике Татарстан наибольшее распространение в общей площади сельскохозяйственных угодий получили черноземы, занимающие площадь 1739,1 тыс. га или 39,8%. Основное количество черноземов 1472,5 тыс. га распространены в районах Закамья. В западной части Закамья распространены в основном выщелоченные черноземы, а юго-восточная часть Закамья, расположенная на Бугульминской возвышенности, представлена преимущественно типичными и карбонатными черноземами. В Предволжье черноземы занимают 254,4 тыс. га, значительные площади занимают оподзоленные и выщелоченные черноземы, в небольшом

количество типичные и карбонатные. В Предкамье Татарстана черноземы занимают лишь 12,2 тыс. га.

Второе место по распространению в почвенном покрове сельскохозяйственных угодий республики занимают серые лесные почвы. Их площадь составляет 1616,7 тыс. га или 37%. В Предкамье они занимают около 58,2% (818,2 тыс. га) площади сельскохозяйственных угодий. Светло-серым лесным почвам принадлежит первое место по распространенности. Темно-серые почвы в Предкамье составляют незначительный процент и встречаются по шлейфам склонов или над луговыми террасами речек. В Предволжье серые лесные почвы занимают 262,4 тыс. га или 41,2% от общей площади сельскохозяйственных угодий. В северной ее части преобладают преимущественно серые и темно – серые лесные почвы. В Закамье серые лесные почвы занимают 536,1 тыс. га или 23% и представлены в основном темно-серыми почвами.

Дерново-подзолистые почвы занимают 6,6% (292,1 тыс. га) от общего состава почвенного покрова сельскохозяйственных угодий республики и основная масса, а именно 258,6 тыс. га, находится в Предкамье.

Оценка почвенного покрова невозможна без наблюдений за динамикой содержания гумуса. В составе гумуса концентрируются более 90% почвенного азота, значительное количество фосфора, кальция, калия, микроэлементов и поэтому с повышением гумусированности почвы способность ее обеспечивать растений элементами минерального питания, как правило, возрастает. Благодаря наличию функциональных групп, гуминовые кислоты обладают высокой поглотительной способностью по отношению к катионам. Образуя с ними устойчивые соединения, они предохраняют от вымывания такие элементы, как кальций, магний, калий, а также обеспечивают проявление важного свойства почвы – ее буферной способности (Авдонин, 1965; Минеев, 1990).

Учитывая многоплановые функции гумуса, необходимо решение вопроса его оптимизации в почве. Гумусное состояние почв находится в равновесии с экономическими условиями, но при распашке почв и использовании их под посевами сельскохозяйственных культур эти условия в значительной мере изменяются. Почва утрачивает основные черты гумусообразования целинных земель, минерализация гумуса начинает преобладать над их образованием. Отмечается устойчивое нарастание отрицательного баланса гумуса на пахотных землях (на склонах от 2 до 5° потеря плодородной почвы с 1 га, в среднем, составляет 8-10 т, в зоне Предкамья и Предволжья 20-22 т/га, вместе с ней потеря гумуса в пахотном слое составляет 300-400 кг). В целом по РТ, за последние 40 лет содержание гумуса в пахотном слое снизилось на 0,8% (с 5,7% в 1970 г. до 4,9% в 2010 г.). По данным агрохимического обследования почв ФГУ «ЦАС «Татарский» и ФГУ «САС «Альметьевская», 567,5 тыс. га пашни (13%) имеют очень низкое содержание гумуса, 1039,5 тыс. га (23,8%) – низкое, 791,5 тыс. га (18,1%) – среднее, 645,7 тыс. га (14,8%) – повышенное, и всего 402,8 тыс. га

(9,2%) – высокое. В среднем за первое десятилетие XXI века степень восполнения выноса NPK с урожаем составила лишь 80-88%, в том числе по азоту – 65-70%, по фосфору – 60-63% и по калию лишь 40-43%. Значительной проблемой остается несбалансированность минерального питания.

Поэтому основная задача современного земледелия – приостановить сокращение запасов гумуса в почве, обеспечить бездефицитный баланс органического вещества. Органическое вещество и часть элементов минерального питания, отчуждаемые при уборке урожая, должны компенсироваться возвратом в почву веществ с отходами животноводства. Для оптимизации применения органических удобрений на основе отходов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных необходимо в системе земледелия Татарстана использовать направления повышения эффективности навоза и компостов:

- использование навоза как основы для получения гранулированных органоминеральных удобрений с заданными физико-химическими характеристиками, что позволяет значительно снизить затраты на транспортировку и внесение;

- при подстилочном содержании животных – использование ускоренной ферментации навоза на площадках и в закрытых сооружениях до стадии перегноя, с последующим внесением на поля, а также внедрение вермикультуры (особенно для небольших животноводческих ферм);

- при бесподстилочном содержании животных применение технологии разделение навоза на фракции с компостированием твердой и стабилизацией жидкой фракции. Компосты использовать в прифермских севооборотах, жидкие, вносить на поля полевых севооборотов;

- расширенное производство и применение торфо-навозных компостов (в Татарстане расположено 800 торфяников общей площадью более 35 тысяч гектаров);

- утилизация отходов птицефабрик методами пассивного компостиования (производство органических смесей: птичий помет + торф, птичий помет + древесные опилки, птичий помет + другие местные органические отходы) или сушки (требует больших затрат энергии).

Эффективность навоза и компостов во многом зависит от нормы, времени, места и способов его внесения. На нечерноземных почвах Республики Татарстан норма внесения навоза рассчитывается исходя из необходимости обеспечения положительного баланса гумуса, т. е. 8-10 т на 1 га в среднем за севооборот (например, при пятипольном севообороте норма внесения составляет 40-50 т/га).

К сожалению, общекономические трудности и высокие энергетические затраты на внесение не позволяют предприятиям активно заниматься внесением навоза и торфонавозных компостов. Использование сидератов и приемов управления биологическими ресурсами (солома, биопрепараты и т.д.) позволяет отчасти компенсировать недостаточное внесение

традиционных органических удобрений и способствует уменьшению темпов и объемов разрушения органического вещества почв. На зеленые удобрения в Татарстане используют два типа сидератов – в качестве самостоятельной и промежуточной культуры. Самостоятельные – те, которые занимают поле весь вегетационный период; промежуточные – те сидераты, которые высеваются на пашне в промежутке между основными культурами в севообороте. При урожайности зеленої массы сидератов 30-35 и более тонн их скашивают с одновременным измельчением, затем производят заделку на глубину 14-15 см. В случае меньшей урожайности (20-25 т/га) зеленої массы сидератов прикатывают, а затем измельчают тяжелыми дисковыми боронами. Заделку осуществляют комбинированными или отвальными орудиями. При использовании промежуточных сидеральных культур необходимо учитывать сроки основной обработки почвы. С учетом меньшей, чем у культур сидерального пара биомассы, могут заделываться сразу непосредственно дисковыми боронами в двух направлениях или после их прикатывания (скашивания). Широкое распространение как сидерат получил донник белый. Это двулетнее светолюбивое растение озимого типа. Корневая система донника обладает особенностью использовать элементы питания из труднорастворимых соединений. Хороший предшественник для зерновых культур, хорошо очищает почву от проволочников, зерновых нематод, корневых гнилей и других болезней и вредителей. Лучше всего растет на почвах с щелочной и нейтральной реакцией, не переносит кислых почв. Является засухоустойчивым растением. При запашке донника на сидерат в почву поступает до 12-14 т/га сухого органического вещества, в котором содержится до 159-220 кг биологического азота, до 40-60 кг фосфора и до 145-165 кг калия. Это эквивалентно внесению в почву 40 т/га навоза. Высевается донник весной под покров ранних яровых зерновых или однолетних трав. Перед посевом обязательна скарификация семян с целью получения дружных всходов. Норма высева – 20-25 кг/га, глубина заделки – 1-3 см.

Фосфор является одним из наиболее важных элементов питания растений, обеспеченность которыми принято считать одним из основных показателей окультуренности почв. Без фосфора так же, как и без азота, нет жизни. Он входит в состав различных органоидов и ядра клеток. В растениях фосфор находится в нуклеопротеидах, в нуклеиновых кислотах, в фосфатидах, сахарофосфатах, фитине, липоидах и в минеральных соединениях. Он входит в состав ферментов и витаминов. Все процессы обмена веществ в растении связаны с образованием фосфорной кислоты. Поэтому создание в почве оптимального фосфорного уровня, обеспечивающего формирование высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур, относится к числу первоочередных задач современного земледелия. Содержание подвижных фосфатов в почве зависит от многих факторов, таких как гумусированность, гранулометрический состав, кислотность, водный и температурный режимы, содержание

подвижных солей железа и алюминия и др. С повышением гумусированности почв доступность растениям фосфора почвы и удобрения в большинстве случаев повышается. Почвы легкого гранулометрического состава имеют более высокие запасы усвоемого фосфора по сравнению с тяжелыми почвами. Установлено, что из всех макроэлементов при дефиците влаги в почве в наибольшей степени ограничивается поступление фосфора в растения. Это связано с усилением поглощения фосфора почвой при её иссушении. Повышение температуры увеличивает подвижность фосфора в почве. Объясняют это усилением микробиологической деятельности, приводящей к увеличению мобильности фосфорной кислоты. Повышенная кислотность сильно снижает доступность фосфатов растениям. Это результат образования труднорастворимых соединений с фосфором, а также следствие накопления алюминия и марганца в корнях растений, снижающие их поглотительную способность. Известкование играет важную роль в оптимизации фосфорного режима в почве. Важным приемом повышения фосфатного уровня почв с кислой реакцией среды является их фосфоритование. При внесении фосфоритной муки отмечено улучшение почвенного плодородия: снижение всех форм кислотности, увеличение насыщенности основаниями, оптимизация фосфорного режима корнеобитаемого слоя.

За оптимальное содержание фосфора в почвах Татарстана, позволяющее получить высокие и стабильные урожаи сельскохозяйственных культур, принято считать 150 мг/кг. Почвы Предкамской и Предволжской зон характеризуются благоприятным фосфатным режимом. В почвах Закамья необходимо фосфатный уровень немного повысить. За годы существования агрехимической службы средневзвешенное содержание подвижных фосфатов в почвах возросло с 87,0 до 141,9 мг/кг. Более существенный рост произошел в почвах Предкамской и Предволжской зон (с 79,2 и 92,8 до 157,3 и 160,7 мг/кг). В районах Закамья этот показатель увеличился с 89,0 до 124,8 мг/кг. Однако, в последнее время, за счет резкого сокращения объемов применения удобрений в конце 90-х гг. наметилась неблагоприятная тенденция снижения обеспеченности почв подвижным фосфором. С начала XXI века содержание подвижного фосфора устойчиво снижается со среднегодовыми темпами 0,72-0,75 мг/кг. В 1991-1995 гг. республиканские объемы фосфоритования составляли 63,1 тыс. га в год. В XXI веке данный прием практически не используется, что негативно отразилось на фосфорном режиме всех типов почв республики.

Калию принадлежит существенная роль в жизни растений в связи с воздействием его на физико-химические свойства биоколлоидов, находящихся в протоплазме и стенках растительных клеток. Он способствует набуханию биоколлоидов, переводу их в устойчивое состояние золя, то есть повышает степень дисперсности биоколлоидов и усиливает их гидратацию, в то время как кальций, наоборот, коагулирует и обезвоживает коллоиды. Поэтому калий увеличивает гидрофильность коллоидов протоплазмы, что

поддерживает организм в молодом, деятельном состоянии. Поэтому при достаточном обеспечении калием растения лучше удерживают воду, легче переносят кратковременные засухи. Калий почвы является основным источником калийного питания растений. Валовое содержание его немного превышает запасы азота и фосфора в почве и определяется главным образом характером материнской породы и гранулометрическим составом. Калий находится в почве преимущественно в виде первичных и вторичных глинистых минералов. Благодаря выветриванию, протекающему в почве, происходит разрушение первичных минералов и калий высвобождающийся из кристаллической решетки, становится доступным растениям. В процессе выветривания, первичные минералы, теряя ион калия, превращаются в глинистые минералы, которые имеют в межпакетных слоях кристаллической решетки специфические места, занимаемые  $K^+$ . Катион калия, вступая в обменные реакции может вытесняться из межпакетного пространства. При внедрении калия между слоями пакетов кристаллической решетки и вытеснении других катионов наблюдается обратный процесс. Также существуют катионы калия, которые фиксированы необменно и непосредственно недоступны растениям. В зависимости от этих связей и определяется подвижное равновесие между формами калия в почве: калий почвенного раствора – обменный калий – фиксированный калий. Основным источником калия для растений является обменный калий. Именно эта форма характеризует плодородие почвы в отношении калия, количество которого может быть от 0,8 до 3,5% от валового его содержания. В зависимости от того или иного сочетания факторов (уровень внесения калийных удобрений, усвоение калия растениями, водный режим почвы, pH – среды и т. д.) равновесие может сдвигаться в сторону закрепления или высвобождения калия, определяя уровень калийного питания растений. За оптимальное для роста и развития сельскохозяйственных культур содержание калия в почвах Республики Татарстан приняты следующие величины:

- дерново-подзолистые, серые лесные – 170 мг/кг;
- черноземы – 120 мг/кг.

За годы существования агрохимической службы средневзвешенное содержание обменного калия в почвах республики увеличилось с 125,0 до 135,9 мг/кг. В Предкамье и Предволжье этот показатель увеличился с 89,3 и 134,7 до 139,0 и 155,2 мг/кг, а в Закамье уменьшился с 136 до 124,7 мг/кг. Многие специалисты считали, что проблемы калия для наших почв не существует, так как в них довольно высокое содержание валового и обменного калия. Вместе с тем, в последние 20 лет среднереспубликанские показатели ежегодного снижения содержания для  $K_2O$  достигли 0,08 мг/кг. Калийный режим почв РТ складывается с дефицитом. С учетом большой мобильности ионов  $K^+$ , регулирование калийного режима почв сопряжено с рядом трудностей. Основным направлением в оптимизации калийного режима почв остается применение калийных удобрений.

В условиях Республики Татарстан важнейшим приемом регулирования агрохимических параметров почвы остается известкование кислых почв. Доля сильнокислых почв в Татарстане составила 1%, средне-кислых – 7,3%, слабо-кислых – 35,6% (всего кислые почвы занимают 1,4 млн. га) и нейтральных – 56,1%. Недобор растениеводческой продукции, только из-за повышенной кислотности, в сравнении с урожаем, который можно получить при оптимальной реакции среды, достигает 900 тысяч тонн зерновых единиц. Повышенная кислотность отрицательно влияет на многие сельскохозяйственные растения, сдерживая их рост и развитие, тем самым, снижает урожай и уменьшает окупаемость удобрений на 30-50%. Известкование кислых почв оказывает многостороннее положительное действие на свойства почвы: улучшает структуру почвы; повышает водопрочность; улучшает водопроницаемость и аэрацию; активирует деятельность полезных почвенных микроорганизмов; улучшает питание растений; повышает эффективность удобрений и т. д.

### **Контрольные вопросы**

1. Каковы основные методы и методики расчета доз удобрений?
2. Основные законы земледелия и растениеводства, которые следует учитывать при программировании урожаев и оценке обеспеченности посевов факторами внешней среды и реализация их на практике за счет применения соответствующих элементов технологии возделывания полевых культур.
3. Каковы принципы построения балансовой формулы (приходная и расходная часть) по элементам питания?
4. Существующие методики расчета доз минеральных удобрений с учетом уровня урожайности и плодородия почвы.
5. В чем особенности методики расчета доз минеральных удобрений при внесении органических удобрений?
6. В чем сущность методики расчета доз минеральных удобрений без применения расчетных формул?
7. Выведите формулы для расчета: а) доз удобрений; б) уровня урожайности по эффективному плодородию; в) коэффициентов выноса питательных веществ из почвы и удобрений.
8. Какова методика расчета уровня урожайности в зависимости от эффективного плодородия почвы?
9. Какова методика расчета коэффициента выноса питательных веществ из почвы и удобрений?
10. Каковы особенности методики расчета и внесения минеральных удобрений под многолетние травы?
11. По каким агрофизическим, агрохимическим свойствам почв осуществляется оптимизация плодородия почвы (по В.Г. Мирееву)?
12. В чем сущность оптимизации плодородия почвы по содержанию в ней гумуса?

13. Фактическое состояние с внесением органических и минеральных удобрений за последние 40 лет в Республике Татарстан.
14. Дать анализ баланса по выносу питательных веществ и их возврату в почву в настоящее время.

## Глава 3. Программирование урожаев – теоретические основы для разработки и использования передовых технологий возделывания полевых культур

### 3.1. Понятие «технология возделывания культур» и её основные элементы

Устойчивое развитие отраслей растениеводства и животноводства, необходимость производства конкурентоспособной продукции сельского хозяйства требуют применения технологий, обеспечивающих высокий уровень продуктивности культур с низкой себестоимостью продукции, потому в развитых странах мира основным путем развития сельскохозяйственного производства является интенсивное развитие всех отраслей, обеспечивающее выживание фермерских хозяйств в условиях жесткой конкуренции. Интенсификация отраслей сельского хозяйства реализуется в производственных условиях через интенсивные технологии возделывания полевых культур на основе внедрения и комплексного применения достижений науки, техники, удобрений, эффективных средств борьбы с сорняками, вредителями и болезнями растений. Все это требует дополнительных материальных затрат, которые при правильном научном подходе должны окупаться дополнительно получаемой продукцией и снижением ее себестоимости. Разработка и внедрение прогрессивных технологий интенсивного типа в конкретных почвенно-климатических условиях имеет в современных условиях первоочередное значение. По расчетам ученых, в настоящее время до 70% недобора урожая сельскохозяйственных культур связано с нарушением технологий, поэтому овладение современными технологиями возделывания и уборки культур, заготовки и хранения кормов людьми, в чьих руках сосредоточены возможности реализации этих технологий (руководители, специалисты, механизаторы, фермеры и др.), имеет огромное практическое и экономическое значение. Прогрессивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур должны основываться на постоянном повышении плодородия почвы, на учете биологических особенностей и потенциальных возможностей культур и сортов интенсивного типа, на комплексном использовании биологических, агротехнических и агрохимических средств управления урожаем и интегрированной защиты растений от болезней, вредителей, сорняков. Также, обеспечение высокопроизводительными машинами, орудиями, комплексами для обработки почвы, посева, уходу за ними, уборке культур, первичной

обработке продукции и др., с обязательным эффективным использованием машин, высокой квалификации кадров и безуказненном соблюдении технологической дисциплины. «Технология» применительно к возделыванию сельскохозяйственных культур представляет совокупность последовательных работ по их выращиванию, уборке и послеуборочной доработке полученной продукции, приемов консервирования и хранения, а также перечень материально-технических средств и технико-экономических показателей. Само слово «интенсивная» обозначает напряжение – комплексное сосредоточение (концентрацию) материально-технических ресурсов для возделывания культур, а все работы должны быть приурочены к фазам вегетации растений, то есть предполагается выполнять все операции «вовремя, постоянно и обоснованно». Внедрение их должно начинаться с разработки подробных технологических карт для каждой культуры, сорта и для каждого конкретного поля. Разработка операционной технологии требует индивидуального подхода к каждому полю, однако есть приемы, которые являются общими для многих культур: проведение всех операций с высоким качеством, снижение затрат труда на всех технологических операциях, применение современных машин и орудий с тщательно отрегулированными рабочими органами. В условиях Татарстана таким общим приемом является накопление в почве влаги и оптимальное водопотребление растениями по той причине, что основным фактором, лимитирующим уровень урожайности сельскохозяйственных культур остается дефицит воды. Применение прогрессивных технологий интенсивного типа преследует выполнение всех операций, технологической картой, однако в зависимости от складывающихся условий может корректироваться путем исключения одних или включения других, не внесенных в технологическую карту операций. Например, при массовом появлении сорняков, вредителей и болезней в непрогнозируемых в момент составления карты размерах и др.

Технология интенсивного типа предусматривает управление ростом и развитием на основе глубокого знания биологии культуры, сорта и применения основных принципов программирования урожаев (расчет уровня урожая по влагообеспеченности, формирование оптимальной густоты стеблестоя (травостоя), внесение норм удобрений под запланированный урожай, проведение вегетационных подкормок, мероприятия по борьбе с вредителями и болезнями и др. Понятие «интенсивная технология» стало широко применяться в 70-80-е годы прошлого столетия как аналог «прогрессивной технологии» и в противовес технологии экстенсивной, хотя в нормальных хозяйствах технологий экстенсивного типа не должно быть.

Каждая технология, которую можно назвать интенсивной, исходя из современных представлений, должна включать в себя следующие основные элементы:

1. Размещение каждой культуры по лучшим для нее предшественникам в системе севооборотов интенсивного типа.

2. В условиях естественного влагообеспечения рассчитывается возможный уровень урожайности по влагообеспеченности, а при орошении растения обеспечиваются влагой в оптимальных размерах.

3. Применение научно обоснованной зональной системы обработки почвы и подготовки ее к посеву.

4. Обеспечение растений элементами минерального питания в расчетных дозах под возможный уровень урожайности, рассчитанного по влагообеспеченности, с учетом содержания элементов питания в почве и потребности растений в питательных веществах, с дробным внесением азотных удобрений в период вегетации растений.

5. Использование научно обоснованных норм высеяния семян для формирования оптимальной густоты стеблестоя с фотосинтетическим потенциалом посевов, обеспечивающим получение максимально возможного уровня урожайности.

6. Возделывание высокоурожайных культур и сортов интенсивного типа, с повышенной засухоустойчивостью, хорошо отзывающихся на увлажнение, уровень агротехники и внесение удобрений.

7. Использование интегрированной системы защиты растений от сорняков, вредителей и болезней, в необходимых случаях регулирование роста растений ретардантами, десикантами.

8. Ориентация всех технологий возделывания на защиту почв от эрозии и повышение год от года ее плодородия, накопление, сохранение и рациональное использование влаги, создание оптимальных условий для роста растений и формирование максимально возможного в этих условиях уровня урожайности.

9. Разработка для каждой культуры, сорта, поля технологических карт, учитывающих все исходные условия поля - плодородие, наличие сорняков, запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы, предшествующие культуры, их урожайность, обработки почвы, внесение удобрений и др., применение машин, орудий, комплексов с учетом максимальной механизации всех процессов, начиная с подготовки семян, почвы и кончая уборкой и консервированием кормов.

10. Проведение всех операций своевременно и качественно в соответствии с технологической картой, внося в зависимости от складывающихся метеорологических и других условий изменения в операционную технологию, предусмотренную технологическими картами, снимая, добавляя или заменяя отдельные операции.

Сопоставление элементов интенсивных технологий с основными принципами программирования урожаев позволяет отметить аналогичность многих элементов, поскольку все прикладные вопросы управления формированием урожайности тесно связаны с программированием. Приведенные выше материалы позволяют с полным основанием сделать вывод, что программирование урожаев следует рассматривать как теоретическую основу прогрессивных технологий интенсивного типа, знание

и применение которого вооружает специалиста-агронома методами расчета уровня урожая по влагообеспеченности, оптимальной густоты стеблестоя с учетом ожидаемой полевой всхожести семян и сохранности растений, а при орошении - расчета оптимальной оросительной нормы, сроков полива, расчета доз удобрений в зависимости от плодородия почвы и уровня планируемого урожая и др. Интенсификация растениеводства и кормопроизводства предусматривает одновременное решение и ряда других агротехнических вопросов: совершенствование структуры посевных площадей; введение соответствующих полевых и кормовых севооборотов, которые смогли бы обеспечить производство растениеводческой продукции и кормов в необходимых объемах за счет расширения площади посева наиболее продуктивных культур и введение комбинированных или специализированных кормовых севооборотов, применение промежуточных (повторных) посевов, а также прогрессивных технологий возделывания культур, послеуборочной подработки полученной продукции; заготовки и хранения кормов, обеспечивающих сокращение потерь урожая.

### 3.2. Севообороты их значение в повышении урожайности полевых культур и плодородия почвы

Одним из обязательных элементов технологии интенсивного типа, значащегося в числе первых, а также один из законов земледелия и растениеводства предусматривают введение севооборотов (плодосмена) с чередованием культур в пространстве и во времени. Этот элемент позволяющий с учетом биологических особенностей культуры, ее хозяйственной значимости и ряда других показателей, отводить каждой культуре такое место в севообороте, в котором культуре наилучшим образом будут созданы условия обеспечения ее факторами внешней среды и получения максимально возможного уровня урожайности не только с какого-то отдельного поля, но и всех культур и со всей площади севооборота. Система севооборотов (плодосмена) должна обеспечивать не только повышение сбора продукции с единицы площади, но и сохранение и повышение год от года, ротации от ротации севооборота плодородия почвы. В каждом хорошо продуманном севообороте должно быть хотя бы одно поле – восстановитель плодородия, к которым в первую очередь следует отнести многолетние травы, особенно бобовые, оставляющие после 4-5 лет пребывания на этом поле большое количество корневых остатков (до 15-16 т сухого вещества), зернобобовые культуры и др. К восстановителям плодородия почвы ряд авторов относят и пропашные культуры, но они могут выполнять эту функцию в основном в тех случаях, когда под эти культуры вносятся органические и минеральные удобрения. Зерновые злаковые оставляют после себя относительно небольшое количество корневых остатков, потому при длительном возделывании этих культур почвы

истощаются. Несколько лучшие условия с накоплением органики складываются в тех случаях, когда вся солома при уборке измельчается и разбрасывается на полях, но это может быть эффективно только при высокой урожайности зерна, принимая во внимание, что соотношение зерна и соломы составляет в среднем 1:1. Нередко чистый пар относят также к восстановителю плодородия почвы – что следует считать крайне большим заблуждением: при ряде положительных сторон чистого пара, отрицательных значительно больше, поскольку в почве протекают активно микробиологические процессы, разрушающие органическое вещество и превращающие его в минеральные соединения, доступные растениям и которые могут легко вымываться и улетучиваться, к тому же поля чистого пара особенно подвержены ветровой и водной эрозии. Поэтому основным природным восстановителем плодородия почвы следует считать многолетние травы, которым, кстати, мы обязаны образованию самых богатых по плодородию почв-черноземов. Таким образом, севооборот (плодосмен) предусматривает чередование культур в пространстве и времени, то есть ежегодную ротацию культур по полям севооборота. Чередование позволяет размещать культуры с учетом их требований к факторам внешней среды, поскольку культуры различаются по требованиям к влаге, пище, способности конкурировать с сорняками, глубине проникновения корневых систем, срокам посева и уборки имеют свои особенности роста и развития и др. В севообороте наряду с полевыми культурами, истощающими плодородие, должны быть восстановители плодородия почвы, на что обращал внимание Д.Н. Прянишников (1953), указав на взаимосвязь между урожайностью и системами земледелия: феодальной трехполькой, плодосменом за продолжительный период в странах Западной Европы. Феодальная трехполька в странах Западной Европы уже в конце XVIII века была заменена плодосменом, в России в ряде регионов трехполька просуществовала до начала XX столетия. Чередование культур в трехпольном севообороте было следующим:

1) чистый пар, 2) озимая пшеница или озимая рожь, 3) овес или ячмень.

В нем не было ни одной культуры, которая оказывала влияние на повышение плодородия почвы. Положительным в этом севообороте с полем чистого пара следует считать, что в нем осуществлялась борьба с сорняками, а за счет минерализации органических остатков шло накопление доступных для последующих двух культур питательных веществ, к тому же в паровом поле обязательно вносились органические удобрения не менее 20-30 т/га, что способствовало повышению плодородия. Во введенном впоследствии плодосмене количество полей с 3 увеличивалось до 4-5, поскольку 1-2 поля отводились под клевер, который был очень хорошим обогатителем плодородия почвы. В связи с этим хотелось бы обратить внимание на введенные и преобладавшие в 50-80-х годах в совхозах и колхозах целины зернопаровые севообороты (преимущественно пятипольные) со следующим чередованием культур:

1) чистый пар, 2) пшеница, 3).пшеница, 4) пшеница, 5) ячмень, в котором 80% пашни занимали зерновые культуры и 20% чистый пар. Сравнивая этот севооборот с феодальной трехполькой, можно выделить единственное различие – удлинение ротации, а общим является то, что нет ни одной культуры, которая могла бы служить восстановителем плодородия почвы, к тому же в отличие от феодальной трехпольки органические удобрения в паровом поле не вносились, а при незначительных дозах вносимых минеральных удобрений баланс питательных веществ в севообороте был отрицательным. В итоге год от года снижались запасы органического вещества, резко упал уровень эффективного плодородия почвы; содержание

гумуса при такой эксплуатации пашни за 30-35 лет после освоения целины снизились на 25-30%, а на почвах с низкими исходными запасами гумуса на 40-50% (А.Н. Можаев, 1990). Роль плодосмена, многолетних трав в нем, особенно бобовых, а также зернобобовых культур исследовалась многими учеными в разных странах мира, а также и в Татарстане. Севообороты играют огромную экологическую и экономическую роль, так как при их освоении можно свести до минимума применение пестицидов, регулировать дозы вносимых минеральных туков, не снижая урожайность культур и плодородие почв. Так, на Ротамстедской опытной станции в Англии бесменном возделывании озимой пшеницы более 100 лет без удобрений урожайность ее упала до 0,85 т/га, при ежегодном внесении на гектар 35 т органических удобрений составила 2,46 т/га, при ежегодном внесении минеральных удобрений (N<sub>190</sub>P<sub>74</sub>K<sub>108</sub>) – 2,21 т/га, а в севообороте после клевера при внесении удобрений – 7,5 т/га. В исследованиях Казанского ГАУ (А.С. Салихов, 1976-2000) установлено, что на девятый год бесменного возделывания по сравнению с размещением в севообороте на неудобренном фоне урожайность озимой ржи снизилась на 54, яровой пшеницы – на 34, ячменя – на 19 процентов. Важнейшим и наиболее дешевым источником сохранения и повышения плодородия почвы в современных условиях следует считать многолетние (особенно бобовые) травы, зернобобовые культуры, а также сидеральные культуры (табл. 3.11).

Таблица 3.11

Количество основных элементов питания, оставляемых различными сельскохозяйственными культурами в корневых и пожнивных остатках  
(А.С. Салихов, КГАУ, 2007)

№ п/п	Культуры	В кг на 1 га				+- к зерновым	
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	всего	в кг	в руб.
1	Зерновые колосовые в среднем (урожайность зерна – 3 т/га)	18,4	5,8	42,4	66,6	-	-
2	Зернобобовые (горох и вика при урожайности 2,5 т/га)	45,0	11,0	34,0	90,0	+23,4	485 руб.

3	Клевер двухгодичного пользования (при урожайности зеленой массы 15 т/га, используемой на корм)	93,5	25,9	67,1	187,0	+120,4	2490 руб.
4	Донник на сидерат (при урожайности зеленой массы 20 т/га, заделываемой в почву)	308,0	40,0	76,0	424,0	+357,4	7416 руб.

\*Себестоимость 1 кг НРК в д. в. В сложных минеральных удобрениях (азофоска, диаммофоска, нитроаммофоска) на 01.01.2008 – 20,75 руб.

Севооборот по своему влиянию на почвенную среду сходен с многокомпонентным естественным растительным сообществом, только его действие растянуто во времени. Севообороты с правильным чередованием культур позволяют избегать почвоутомления, сдерживать распространение почти всех болезней сельскохозяйственных растений, а некоторые болезни удается подавлять полностью.

### 3.3. Динамика урожайности зерновых культур в странах Западной Европы в XVIII – начале XX веков в связи с введением плодосмена (севооборотов) и применением минеральных удобрений

Дмитрий Николаевич Прянишников (1865-1948) – академик, крупный ученый, выдающийся агроном, растениевод, агрохимик, физиолог, биохимик, который считается основоположником агрохимии в России, с 1895 года в течение 35 лет (1895-1929) руководил кафедрой частного земледелия в Московском сельскохозяйственном институте (впоследствии Тимирязевская сельскохозяйственная академия), и в течение всех этих лет читал курс лекций по «Частному земледелию» (теперь этот курс носит название «Растениеводство»), став преемником профессора И.А. Стебута. Д.Н. Прянишников подготовил и впервые издал в 1898 году учебник «Частное земледелие», которое выдержало впоследствии 8 изданий, и сыгравшее огромную роль в подготовке многих поколений агрономов, обучавшихся не только в ТСХА, но и других сельскохозяйственных учебных заведениях. Последнее издание было опубликовано в 1931 году в период коренной перестройки всего сельского хозяйства, коллективизации (Д.Н. Прянишников, 1963). Наряду с педагогической деятельностью, подготовкой и изданием учебников по растениеводству и агрохимии, переведенных на несколько языков, Д.Н. Прянишников опубликовал целый ряд фундаментальных научных работ, среди которых следует назвать «Азот в жизни растений и земледелии», опубликованную в 1945 году. В этой работе автор наряду со многими другими вопросами делает аналитический обзор

динамики урожайности зерновых культур в странах Западной Европы с 1770 по 1929 гг., увязывая с системами земледелия - средневековой трехполкой (без клевера) и плодосменом (с клевером), а также влиянием минеральных удобрений на фоне клевера. Он писал (1953), что в начале XX столетия урожаи в России были в два-три раза ниже, чем в странах Западной Европы, что объяснялось более благоприятными естественными условиями – климатическими и почвенными, однако, почвы на Западе по природе хуже, чем в России, а их плодородие создано применением труда и знаний. С полным основанием можно сказать, что почва переделана руками человека, поскольку при том же климате 150-200 лет тому назад Запад имел такие же низкие урожаи, как дореволюционная Россия (около 7 ц/га). Согласно мнению академика, два фактора играли в переделке почв в Западных странах: первый - клеверосеяние, как восстановитель плодородия почвы; второй – минеральные удобрения (включая известкование), причем воздействие этих факторов усиливалось за счет внесения навоза. Схематически динамику урожайности в Западной Европе Д.Н. Прянишников (1953) представил в виде

трех ступеней лестницы (рис. 3.1). Он писал, что в начале XX столетия в Бельгии и Голландии ничего нового не случилось ни в области обработки почвы, ни в области селекции, севообороты новым изменениям не подверглись. Единственным, по существу, новым фактором воздействия на урожай явились в то время минеральные удобрения, но они, конечно, подняли значение и прочих факторов – клевера и навоза.

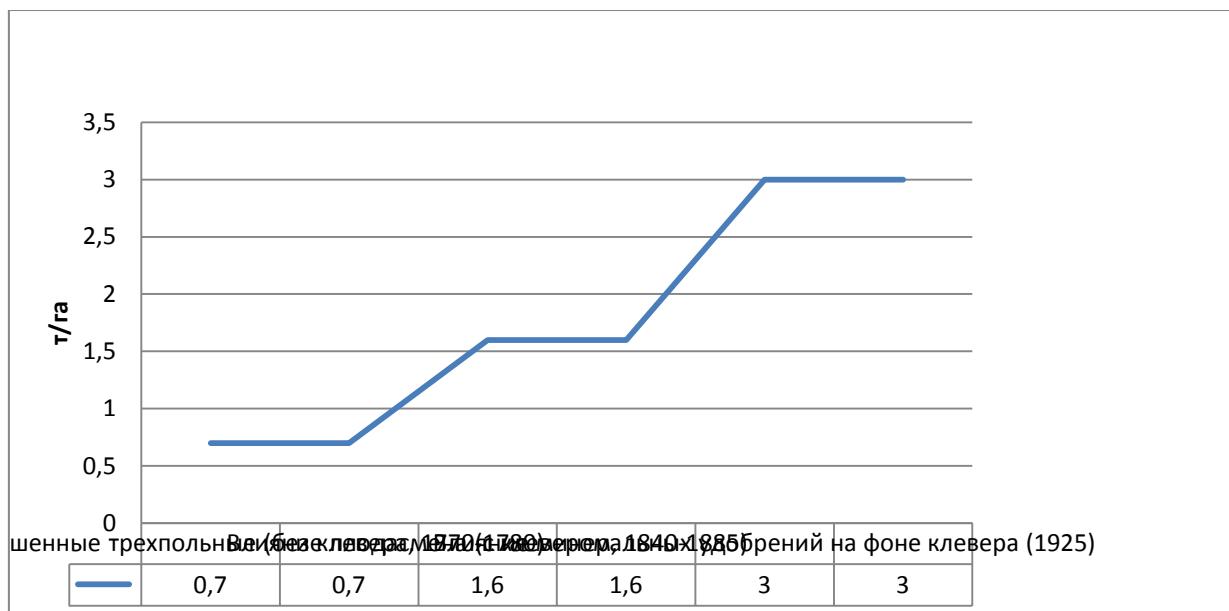


Рис. 3.1. Динамика урожайности зерновых культур в странах Западной Европы за период с 1770 по 1925 годы в зависимости от применяемых систем земледелия (трехполье без клевера, плодосмен с клевером) и минеральных удобрений

Следует принять во внимание, что с введением плодосмена был упразднен

чистый пар, занимавший при средневековой трехпольке 33% пахотной площади, и введены в севообороты пропашные культуры, способствующие очищению полей от сорняков.

### 3.4. Некоторые результаты освоения севооборотов с применением удобрений и других элементов технологии

Влияние на урожай сельскохозяйственных культур и плодородие земель каждого из этих основных звеньев агротехники в севооборотах Республики Татарстан изучено в длительных стационарных опытах ТатНИИСХ на различных почвах под руководством А.А. Зиганшина. По итогам шестилетних исследований института, в результате отказа от севооборота ежегодно не добирали с каждого гектара зерна: на темно-серой лесной почве 80–84 кг, на выщелоченном черноземе 75–120 кг в зависимости от фона удобрений и схем севооборотов. В полтора – два раза увеличился недобор на обыкновенном черноземе, где участок перед закладкой опыта был засорен овсюгом, который в результате повторных посевов размножился до катастрофических размеров и на четвертый год полностью уничтожил урожай яровой пшеницы и ячменя, наполовину снизил сборы гороха. Опыты института с севооборотами и бессыменными посевами велись без удобрений и на фоне 20 т/га навоза один раз в 4 года и минеральных удобрений в остальные годы. Учеты показали, что одни и те же культуры в севооборотах и в повторных посевах совершенно по-разному реагировали на данную систему удобрений. Полученные приросты урожаев приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12

Эффективность системы удобрений (20 т/га навоза один раз в 4 года, N<sub>30</sub>P<sub>40</sub>K<sub>30</sub> – в остальные три года) в севооборотах и на монокультурах, по данным ТатНИИСХ. Сумма прибавок урожаев зерновых культур в т, за 1968–1972 гг.

Звенья севооборотов; культуры	Темно-серая лесная почва	Выщело- ченный чернозем	Обыкно- венный чернозем
Севообороты			
Злаковый: ячмень – рожь – пшеница	4,43	2,63	2,04
Бобово-злаковый: горох – рожь – пшеница – ячмень	3,51	2,83	2,73
Монокультуры			
Яровая пшеница	1,76	1,64	1,17
Горох	0,89	0,56	1,26
Рожь	3,17	1,70	Гибель
Ячмень	3,98	3,33	2,06

**Примечание.** По темно-серой лесной почве приведены средние данные по трем закладкам севооборотов, по выщелоченному чернозему – по первой закладке, по обыкновенному чернозему – по второй закладке, находящейся в сравнимых условиях с участком монокультур.

Прибавки урожаев яровой пшеницы в бессменных посевах оказались ниже, чем в севооборотах в 1,5 – 2 раза, гороха в 2 – 8 раз, ржи в 1,2 – 1,5 раза. Значит, внося расчетное количество навоза и минеральных туков под запрограммированные урожаи, в условиях бессменных посевов можно получить все те результаты, на которые надеялись. По результатам этих исследований авторами были предложены, культуры в севооборотах чередовать, на основе следующих принципов.

Под чистый пар отводить поля из-под яровых зерновых, иногда, если это предусмотрено схемой севооборота – после озимых. Нецелесообразно располагать чистый пар после зернобобовых, многолетних трав и пропашных культур. Исключение может быть допущено только в случае особо сильной засоренности участка.

Озимые культуры в наших условиях высеваются после гороха на силос и зерно, однолетних трав, частично по чистому пару. В отдельных случаях, при недостатке других рано убираемых предшественников, можно допускать повторные посевы по ржи с обязательным внесением удобрений перед посевом и проведением весной азотной подкормки.

Зернобобовые высеваются после яровых и озимых злаков, пропашных культур. Не следует под них отводить участки, на которых возделывались многолетние травы и зернобобовые.

Пропашные культуры лучше размещать после озимых, можно также после яровой пшеницы и зернобобовых. Не рекомендуется сеять их на полевых землях по пласту многолетних трав (чтобы не вызвать слишком быстрого разложения пласти) и производить повторные посевы (кроме кукурузы). В кормовых севооборотах, расположенных на наиболее плодородных почвах, при необходимости допускаются повторные посевы пропашных и размещение их по пласту многолетних трав.

Многолетние травы подсевают под покров яровых злаков (яровая пшеница, ячмень, овес) или озимых культур. После них размещают посевы яровой пшеницы, льна, проса, а при распашке пласта после первого укоса – озимые. В кормовых севооборотах за многолетними травами могут идти также однолетние травы.

Разные исследователи в различное время с различных точек зрения объясняли необходимость чередования культур в севообороте. Наиболее обоснованную теорию чередования культур дал Д. Н. Прянишников (1975). Все многообразие причин, вызывающих необходимость чередования культур, он объединил в четыре группы: химического, физического, биологического и экономического порядка.

Важное значение в современных условиях ведения земледелия имеют биологические причины, ибо одностороннее истощение почвы мы можем предотвратить внесением удобрений, ухудшение ее водно-физического состояния – внесением органического вещества, извести, правильной обработкой на орошаемых землях с помощью полива, а с размножением вредителей, болезней, сорняков и токсикозом почвы не всегда можно справиться без научно обоснованного чередования культур. Следовательно, необходимо учитывать и то, что на высоком агротехническом фоне, особенно при повышенных дозах азотных удобрений, создаются благоприятные условия для развития сорняков, вредителей и болезней культурных растений. Севооборот по своему влиянию на почвенную среду сходен с многокомпонентным естественным растительным сообществом, только его действие растянуто во времени. Севообороты с правильным чередованием культур позволяют избегать почвоутомления, сдерживать распространение почти всех болезней сельскохозяйственных растений, а некоторые болезни удается подавлять полностью. Севообороты играют огромную экологическую и экономическую роль, так как при их освоении можно свести до минимума применение пестицидов, регулировать дозы вносимых минеральных туков, не снижая урожайность культур и плодородие почв. Окупаемость удобрений в этом случае возрастает на 25-30%. Без севооборота нельзя применять дифференциированную систему обработки почвы, интегрированную защиту растений, получить должную отдачу от внедрения новых высокопродуктивных сортов.

Усиление эрозионных процессов диктует необходимость организации территории на контурно-мелиоративной агроландшафтной основе с почвозащитной направленностью севооборотов. Основополагающим принципом разработки структуры посевых площадей и севооборотов в современных условиях должно быть высокопродуктивное использование пашни при одновременном поддержании и повышении плодородия почвы. С одной стороны, в условиях рыночной экономии в целях производства конкурентоспособной по качеству и себестоимости продукции, коллективные, фермерские хозяйства и другие крупные производители могут максимально использовать прежде всего такие природные факторы повышения урожайности культур и плодородия почвы, как возделывание многолетних трав и однолетних бобовых культур, сидерацию, включение в севооборот промежуточных культур, использование излишков соломы на удобрение и др. С другой стороны, использование биологических факторов в земледелии создаст условия для уменьшения объемов применения химических удобрений и средств защиты растений, что, в свою очередь, обеспечит получение экологически безопасной для человека и животных растениеводческой продукции.

### 3.5. Урожайность зерновых культур в зависимости от количества внесенных минеральных удобрений в ряде стран мира и РФ в 80-е годы XX столетия

Удобрения в начале применяли в так называемых рекомендуемых дозах. Эти дозы были выявлены в опытах по пятерной или восьмерной схемам на большинстве типов, подтипов и разновидностей почв в различных зонах с каждой из основных культур. В Татарстане такие опыты организовал проф. С. С. Ильин, оставивший книгу «Удобрение полевых культур», выпущенную в 1940 году Татгосиздатом (332 с.). Для получения первых сведений об отзывчивости растений на отдельные элементы питания подобные опыты были безусловно необходимы. При уровне агротехники и наборе сортов того периода, на полях, не затронутых мерами окультуривания, было выявлено, что на нечерноземных почвах в первом минимуме находится азот, а на черноземных – фосфор. Некоторое повышение урожайности на всех почвах обеспечивало совместное применение фосфорных и калийных удобрений. Оптимальные дозы, до которых происходило повышение урожайности, находились для зерновых в пределах 30-60 кг/га действующего вещества каждого элемента. Они повышали урожайность в большинстве случаев на 300-500 кг/га. В заложенных в середине 60-х годов стационарных опытах под руководством А. А. Зиганшина выявились роль системы удобрений в севооборотах, состоящей из основной заправки полей навозом в пару, под пропашные (или занятые пары) с дополнением элементов питания минеральными удобрениями в рекомендованных дозах. Проведенные опыты показали, что каждая тонна навоза и каждые 100 кг минеральных туков при такой системе применения позволяют поднять урожайность зерновых (или других культур в переводе на зерновые единицы) на 100 кг, причем лишь до определенной дозы удобрений. Наивысшая урожайность достигнута на варианте с внесением в расчете на один год 6 тонн навоза и 330 кг минеральных удобрений на один гектар пашни. На темно-серой лесной почве она составила 3,31 тонн зерновых единиц, выщелоченном черноземе 3,01, карбонатном – 2,65 т. Более высокие нормы навоза не увеличивали урожайности и снизили отдачу от каждого килограмма действующего вещества удобрений. Эта ситуация объяснялась рядом причин: не высокие еще потенциальные возможности и устойчивость против полегания высевавшихся тогда сортов; несоответствие норм и соотношений элементов питания требованиям каждой из культур и ожидаемой от них урожайности. Это несоответствие вело к перерасходу влаги и даже отдельных элементов питания на каждую единицу урожая. Возникающие противоречия подталкивало к внедрению более продуктивных и устойчивых сортов, а также поиску методов расчета доз удобрений, соответствующих биологическим потребностям каждой культуры, иногда сорта на запланированные урожаи. В засушливых условиях эффективность расчетных норм удобрений и судьба плана урожайности вообще во многом зависела от умения регулировать водный режим полей. Этими проблемами в дальнейшем

и занималась вся научная школа проф. А. А. Зиганшина. Агрохимиками и представителями смежных агрономических дисциплин было предложено несколько десятков методов подсчета доз удобрений под намечаемые высокие урожаи новых сортов. Первоначально агрохимслужба Татарстана предпочла метод «Радоз ВВ», не требующий ежегодных анализов почвы на содержание усвояемых элементов питания, пользующийся ранее выданными хозяйствам картограммами и готовыми таблицами доз под намечаемые урожаи. Однако такой довольно приблизительный метод подсчета, к тому же игнорирующий происходящие в течение ряда лет изменения плодородия почвы, ведет к неточностям и перерасходу удобрений на единицу получаемой дополнительной продукции. Подтверждение тому результаты стационарных опытов проеденных на серой лесной почве учхоза Казанского СХИ (1982-1989 гг.). В этом опыте рожь без удобрений дала урожайность 3,58 т/га. По Радоз ВВ на 4 т зерна получено 3,63 т с оплатой 1 кг действующего вещества удобрений 0,8 кг зерна. При внесении удобрений по расчетно-балансовому методу на 4 т зерна выращено 4,13 т с оплатой 1 кг действующего вещества 3,9 кг зерном. А когда вносили удобрения в расчете на 6 т и когда удалось лучше сбалансировать элементы питания на этой почве, получили 5,22 т зерна с оплатой 1 кг д. в. удобрений – 6,2 кг зерна. Горох без удобрений вырастили 1,47 т, по Радозу ВВ на 4 т – 2,53 т с оплатой д. в. 2,7 кг, по балансовому расчету 3,05 т с оплатой 4,2 кг. Овес без удобрений дал 2,98 т, по Радозу ВВ на 4 т – 3,50 т с оплатой д. в. 1,9 кг/кг, при внесении удобрений по расчету на 4 т – 3,74 с оплатой д. в. 3,3 кг/кг. Эти и многочисленные другие подобные данные, а также ознакомление с зарубежным опытом применения удобрений подтолкнули агрохимслужбу республики к использованию расчетно-балансового метода с ежегодными анализами почв, учетом выноса и использования элементов питания из почвы и удобрений. При всех методах установления доз удобрений часто получается высокие дозы азотных удобрений. Поэтому на фоне рассчитанного количества фосфорно-калийных удобрений исследовали целесообразность дробного внесения азота. В опытах В. И. Блохина на серой лесной почве в среднем за три года (1986-1988) без удобрения урожайность яровой пшеницы составила 1,73 т/га. На фоне удобрений, рассчитанных на 3,5 т (N<sub>136</sub>P<sub>84</sub>K<sub>77</sub>), где 2/3 азота вносили под предпосевную культивацию и 1/3 в две подкормки – 3,15 т (прибавка 1420 кг). На фоне тех же фосфорно-калийных удобрений при внесении азота по почвенной диагностике урожайность составила 2,52 (прибавка 790 кг), по листовой диагностике 1,92 (190), по почвенной и листовой – 2,82 (1090), почвенной, I и II диагностикам (N<sub>55+35+35</sub>) – 2,92 (прибавка 1190 кг/га). В те же годы на выщелоченном черноземе аналогичные опыты с яровой пшеницей проводил Т. З. Давлетшин. Фон P<sub>137</sub>K<sub>70</sub>. При внесении азота (N<sub>126</sub>) в один срок было выращено 3,56 т/га, в два срока (N<sub>63+63</sub>) – 3,62, в 3 срока (N<sub>63+32+31</sub>) – 3,95, в 4 срока (N<sub>32+32+31+31</sub>) – 3,72 т/га.

Количество вносимых удобрений зависит от многих факторов, во-первых, уровня развития химической промышленности в стране, во-вторых, уровня интенсификации сельскохозяйственного производства, в-третьих, заинтересованности сельхозпроизводителя покупать, применять на своих полях минеральные удобрения и др. В таблице 3.13 приведены материалы по урожайности зерновых культур и количеству внесенных удобрений в ряде стран мира в конце восьмидесятых годов прошлого столетия. Приведенные цифры дают относительное представление об эффективности вносимых удобрений, поскольку эффект их действия связан со многими другими факторами (почвенно-климатические условия, общая культура земледелия, рациональное использование удобрений и др.), однако ясно одно: если питательные вещества выносятся с урожаем, то их следует с «процентами» возвращать почве, в противном случае можно довести почвы до крайне низкого уровня как потенциального, так и эффективного плодородия.

Таблица 3.13  
Количество внесенных в почву минеральных удобрений (кг/га) и  
урожайность зерновых культур (т/га, конец 80-х годов XX столетия)

Государство	Количество вносимых удобрений, кг/га	Урожайность зерновых, т/га
Голландия	800	7,00
Япония	437	5,84
Франция	311	5,63
Германия	421	5,31
Польша	231	2,90
СССР	120	1,80

С 60-х годов прошлого столетия в Российской Федерации ежегодно увеличивались поставки сельскому хозяйству минеральных удобрений и их использование: в 1985-1990 гг. в расчете на гектар пашни вносились в среднем 120 кг (в пересчете на 100% питательные вещества), в Татарстане – более 117 кг, а в 1991-1995 гг. на каждый гектар посева вносились более 136 кг. К тому же в 1983-1990 гг. на гектар пашни в среднем ежегодно вносились 5,9 т органических удобрений. С 90-х годов прошлого столетия из-за дороговизны хозяйства республики перестали приобретать в прежних объемах минеральные удобрения, а в связи с резким сокращением скота в крупных и средних сельхоз предприятиях побочная продукция животноводства – навоз – перестала производиться, и, следовательно, сократилось её среднегодовое использование до 1,2 т/га пашни. В Республике Татарстан минеральные удобрения в расчете на гектар пашни вносились в

среднем за 1996-2000 гг. – 81 кг, за 2001-2005 гг. – 68 кг, за 2006-2010 гг. – 74 кг, за 2011-2014 гг. – 59 кг. Приведенные цифры свидетельствуют о экстенсивном ведении сельского хозяйства и крайне отрицательном балансе питательных веществ: ежегодно с урожаем выносятся питательные вещества, а возврата их в почву нет, что свидетельствует о прогрессивном истощении плодородия почв на всей территории республики.

### 3.6. Особенности методики расчета и внесения норм удобрений в Германии

В методических рекомендациях по возделыванию кукурузы и других культур для фермеров Германии (Feldbuch, 95/96, Mais anbauplaner и др.), изданных в последние годы, особое вниманиеделено методике расчета и применения минеральных (Mineraldunger) и органических (Rindergulle) удобрений под кукурузу и другие кормовые культуры. Кукуруза на зерно и силос стала в Германии одной из ведущих кормовых культур: за период с 1965 по 2002 гг. площадь посева увеличилась с 110 тыс. га до более 1,5 млн. га, в т.ч. на зерно около 306 тыс. и на силос – более 1,2 млн. га, почти вытеснив за эти годы традиционные для Германии кормовые корнеплоды, потеснив даже клевер, поскольку кукуруза дает не только высокие сборы корма с гектара, а возделывать ее более выгодно, поскольку себестоимость продукции ниже в связи с применением комплексной механизации всей технологической цепочки от посева до уборки, хранения и скармливания. Средняя урожайность в целом по стране за последние 30 лет составила: силосной массы – 19-21 т/га (стандартное содержание сухого вещества 30%) и зерна – 11-12,5 т/га. В Германии очень хорошо отработана технология выращивания гибридных семян, зонирования гибридов, подготовки семян к посеву, обработки почвы, посев, ухода за посевами, созданы и применяются современные самые совершенные машины и орудия. Все это позволяет, например, добиваться полевой всхожести семян не менее 95% и получать при высеве в среднем на 1 м<sup>2</sup> 10,5 шт. семян (*Koteg/m<sup>2</sup>*) – 10 шт. растений (*Pfianzen/m<sup>2</sup>*), при этом рассчитано даже расстояние (см) между семенами при ширине междурядий 75 см (*Ablage in cm*).

Таблица 3.14  
Густота стояния растений и норма высева семян на 1 м<sup>2</sup> при посеве с шириной междурядья 75 см (при 95% всхожести семян)

Количество растений на м <sup>2</sup>	Норма высева семян на м <sup>2</sup>	Расстояние между семенами, см
7,0	7,4	18,1
7,5	7,9	16,9
8,0	8,4	15,8
8,5	9,0	14,9
9,0	9,5	14,1
9,5	10,0	13,3
10,0	10,5	12,7

10,5	11,1	12,1
11,0	11,6	11,5

В указанных выше рекомендациях по возделыванию кормовых культур, рассчитанных на простых фермеров, особое место удалено методике расчета и применению удобрений, которая представляет определенный интерес и заслуживает внимания. В таблице 3.15 приведен пример плана внесения азотных удобрений под кукурузу (кг/га) по фонам без внесения навозной жижи (*ohne Guile*) и с органическими удобрениями (*Rindergulle*) с указанием доз (кг/га, м<sup>3</sup>/га), сроков внесения (в марте, апреле-мае перед посевом и припосевное, в июне – в междурядья).

Таблица 3.15  
Дозы внесения азотных удобрений в посевах кукурузы

Сроки	Способы удобрения	Навозная жижа, кг/га N	Органические удобрения, кг/га N
Март	Nmin кг/га	50	70
Март	жижа+навоз, 25 м <sup>3</sup> /га	-	50
Апрель/май	при посеве/минеральные удобрения	80	40
Июнь	междурядия жижа 25 м <sup>3</sup> /га минеральные удобрения	- 70	50 -
Сумма Nmin	сумма удобрений от 50 м <sup>3</sup> /га жижи минеральные удобрения	200 - 150	210 100 40

Следует обратить внимание, что в сумме за один год вносятся высокие дозы азотных удобрений: без внесения навозной жижи – 200 кг/га, с внесением органики – 210 кг, в т.ч. 40 кг за счет минеральных удобрений, что вполне оправдано, принимая во внимание высокий уровень урожайности культуры.

Дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитываются с учетом выноса питательных веществ с урожаем (*E-Entzug*) и классификации по уровню содержания в почве доступных растениям питательных веществ: А – низкий (*niedrig*), В – средний (*mittel*), С – высокий (*hoch*), Д – очень высокий (*sehr hoch*) и Е – очень высокий (*besonders hoch*) (табл. 3.16).

Таблица 3.16  
Содержания питательных веществ в почве  
и рекомендованные дозы удобрений

Класс обеспеченности	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг/100 г почвы	Рекомендуемая доза удобрения кг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /га
А – низкий	< 8	E + 90
В – средний	8 – 14	E + 40
С – высокий	15 – 25	E

Д – очень высокий	26 – 30	$\frac{1}{2} E$
Е – очень высокий	> 30	0
	E= Сумма выноса питательных веществ с урожаем	

В зависимости от класса обеспеченности в А, В, С вносятся фосфорные удобрения, компенсирующие вынос их с урожаем, кроме того в соответственно 90 и 40 кг фосфора, в классе обеспеченности Д вносится половина от выносимых с урожаем питательных веществ, в классе Е – совсем не вносятся. Аналогичный метод расчета принят и по калию. В табл. 3.17 приводится классификация почв (А, В, С, Д, Е) в зависимости от содержания калия и механического состава почвы – легкие (*leichte Boderi*) и тяжелые (*schwere Boderi*), а в нижней части таблицы дается методика расчета доз удобрений с учетом выноса с урожаем (*E – Entzug*), механического состава почвы и на болотных почвах (*Moor boderi*). В зависимости от классификации вносится дополнительное количество минеральных удобрений в целях повышения плодородия почвы.

Таблица 3.17  
Рекомендуемые дозы калийных удобрений в зависимости от класса обеспеченности, типа почвы и выноса питательных веществ с урожаем

Класс обеспеченности	K <sub>2</sub> O в мг/100 г почвы		
	легкие	средние почвы	тяжелые почвы
А	< 8	< 8	< 10
В	8 – 14	8 – 14	10 – 14
С	15 – 20	15 – 30	20 – 35
Д	21 – 30	31 – 45	36 – 50
Е	> 30	> 45	> 50
Класс обеспеченности	Рекомендуемые дозы K <sub>2</sub> O - удобрений		
	легкие почвы	средние и тяжелые почвы	болотные почвы
А	E + 50	E + 100	E + 300
В	E + 25	E + 50	E + 200
С	E	E	E + 100
Д	$\frac{1}{2} E$	$\frac{1}{2} E$	E
Е	0	0	100
			E = Сумма выноса питательных веществ с урожаем

Интересно то, что в Германии возникает необходимость внесения и магниевых удобрений. Классификация почв по уровню содержания MgO в разных почвах и рекомендуемые дозы внесения их представлены в таблице

3.18. Анализируя методику расчета доз удобрений, применяемую германскими фермерами, можно сделать следующее заключение:

1. Применяемая методика расчета доз удобрений представляет собой упрощенный балансовый метод, вполне понятный и доступный для фермеров, даже не имеющих специального сельскохозяйственного образования.

2. Методикой предусмотрен возврат в почву вынесенных с урожаем питательных веществ с учетом содержания питательных веществ в почве в соответствии с принятой классификацией (А, В, С, Д, Е).

Таблица 3.18

Рекомендуемые дозы микроудобрений ( $MgO$ ) в зависимости от класса обеспеченности и типа почвы

Класс обеспеченности	$MgO$ мг/100 г почвы			
	S, IS	sL, L	tL, T	Moor
А – низкий	3	< 6	< 8	3
В – средний	4-6	7-12	9-14	4-6
С – высокий	7-10	13-20	15-25	7-10
Д – очень высокий	> 10	> 20	> 25	> 10
Класс обеспеченности	Рекомендуемые дозы удобрений ( $MgO$ ), кг/га			
А – низкий	60 – 100			
В – средний	30 – 60			
С – высокий	0 – 30			
Д – очень высокий	0			

3. Методикой не предусмотрены подробные расчеты использования посевами питательных веществ из почвы и удобрений, однако взамен этого на почвах с более низким уровнем плодородия (А, В, С) вносится дополнительное количество удобрений, что связано, с нашей точки зрения, во-первых, с необходимостью упрощения методики и доступности для фермеров; во-вторых, с высоким уровнем увлажнения (среднее многолетнее количество осадков за год в разных зонах колеблется от 620 до 880 мм, в том числе за май-сентябрь – от 330 до 480 мм при высокой относительной влажности воздуха), что способствует повышению коэффициентов выноса питательных веществ из почвы и удобрений до максимальных значений, которое возможно при хорошем уровне естественного увлажнения или орошении.

4. Методика рассчитана на внесение удобрений под максимально возможный

(потенциальный) уровень урожайности в этих условиях культуры, гибрида, сорта.

5. Почвы стран Западной Европы отличаются высоким уровнем потенциального и эффективного плодородия, поскольку в течение более 200

лет регулярно применяется и «работает» плодосмен (севообороты) с клевером и пропашными культурами при ежегодном внесении «огромных» (по нашим меркам) доз минеральных и органических удобрений, что лишний раз подтверждает справедливость утверждения академика Д.Н. Прянишникова, что «почвы в этих странах сделаны руками человека».

6. Учитывая все вышеизложенные факторы и условия, можно сказать, что немецкие ученые рекомендуют фермерам новый вариант балансового метода расчета доз удобрений, который на этом этапе можно считать оптимальным для конкретных условий.

Приведенные выше материалы, наглядно свидетельствуют о том, что в Германии, как и в других странах Западной Европы, применяется балансовый метод расчета и внесения доз удобрений с учетом выноса питательных веществ с урожаем и уровня плодородия почвы. И еще в котором предусмотрено сверх того внесение дополнительных доз удобрений на почвах с относительно низким (по их классификации) содержанием доступных питательных веществ в почве.

### 3.7. Классификация, общие требования к кормовым севооборотам

Один из законов земледелия и растениеводства предусматривает обязательное введение плодосмена или севооборота с чередованием культур

в пространстве и времени, что позволяет отводить каждой возделываемой культуре соответствующий предшественник и создавать лучшие условия для получения высокого урожая основной (или основных) для хозяйства культуры (или культур). В средних и крупных животноводческих хозяйствах для обеспечения скота полноценными кормами возникает необходимость вводить специализированные кормовые севообороты, в которых должны сосредотачиваться основная доля посевов кормовых культур – силосных, многолетних и однолетних бобовых и злаковых трав, корнеплодов и зернофуражных культур. Кормовые севообороты подразделяются на два типа: специализированные и комбинированные.

- специализированные севообороты – предназначены для производства различных видов кормов, в том числе и зернофуража;

- комбинированные – для выращивания кормовых, доля которых может достигать 40-50%, а до 50-60% зерновые и другие культуры.

В специализированных севооборотах насыщенность кормовыми культурами может достигать 100%, однако с точки зрения лучшего использования пашни и кормовых культур как предшественников целесообразно до 20-25% пашни отводить под зернофуражные и зернобобовые культуры. В свою очередь, специализированные кормовые севообороты подразделяются на несколько видов:

- пропашные для выращивания силосных культур и кормовых корнеплодов;

- травянопропашные, в которых размещают преимущественно травы, силосные и другие культуры;
- травопольные для выращивания кормовых многолетних и однолетних трав.

К кормовым севооборотам предъявляются следующие основные требования:

- система кормовых севооборотов в сочетании с естественными пастбищами

должна бесперебойно обеспечивать кормами поголовье животных в достаточном количестве и необходимых видов;

- в кормовых севооборотах следует выращивать культуры, необходимые для полноценных рационов животных и обеспечивающие максимальный сбор с каждого гектара посевов;

- наибольшую площадь должны занимать культуры универсального использования, идущие на приготовление кормов различных видов и дающие возможность применять комплексную механизацию возделывания культур;

- для наиболее полного использования агроклиматических ресурсов и повышения выхода кормов с каждого гектара площади севооборота в районах достаточного увлажнения или при орошении применяют промежуточные посевы кормовых культур;

- при разработке структуры посевов в севооборотах предусматривают стабильность производства кормов в экстремальные годы за счет включения видов и сортов кормовых культур с разными требованиями к факторам внешней среды;

- севообороты должны иметь сравнительно короткую ротацию, позволяющую в зависимости от условий изменять структуру посевов и относительно быстро осваивать севообороты без заметного снижения общей продуктивности пашни;

- видовой и сортовой состав культур и их чередование, системы применения

удобрений и обработки почвы в севооборотах должны обеспечивать расширенное воспроизведение плодородия почвы;

- из многолетних трав отдается предпочтение культурам с высоким продуктивным долголетием, применяя в зависимости от почвенно-климатических и метеорологических условий беспокровный или подпокровный способы посева. В целях наиболее рационального использования орошаемых земель, занимаемых кормовыми культурами, по данным ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса, в структуре посевных площадей многолетние травы должны занимать до 70%, силосные – 19%; однолетние – 4%, кормовые корнеплоды – 7%.

### 3.8. Виды кормовых севооборотов для Республики Татарстан и методы оценки их продуктивности

Удельный вес кормовых культур в специализированных кормовых и прифермских севооборотах может составлять в условиях Предкамья и Предволжья Республики Татарстан до 75-80% (в том числе многолетние травы 50%), в прифермских – до 100%; для районов Закамья аналогичные показатели должны быть снижены до 70-75% для кормовых и 80-90% прифермских севооборотов.

Пример кормового севооборота:

1. Однолетние травы или ячмень; 2. Многолетние травы I года, 3. Многолетние травы II года, 4. Многолетние травы III года; 5. Озимые на зеленый корм с поукосным посевом ячменя или кукурузы на силос; 6. Кукуруза на силос по зерновой технологии.

Пример прифермского севооборота:

1. Однолетние травы или ячмень; 2. Многолетние травы I года, 3. Многолетние травы II года, 4. Многолетние травы III года; 5. Озимые на зеленый корм с поукосным посевом ячменя или кукурузы на силос; 6. Кукуруза на силос по зерновой технологии; 7. Кукуруза на силос.

Приведенные севообороты имеют свои преимущества. Это высокий выход кормовых единиц, почвозащитный эффект. Но есть и недостатки, это высокая насыщенность кукурузой, опасность повреждения проволочниками.

Важность включения в севообороты многолетних трав заключается и в том, что они являются источниками полноценных, отвечающих зоотехническим требованиям кормов. Эти корма отличаются от других самой низкой себестоимостью, затратами на производство. У кормов из многолетних трав в условиях Татарстана самый высокий коэффициент энергетической эффективности (соотношение полученной с урожаем энергии к энергии затраченной на получение этого урожая). С агробиологической и с кормовой точки зрения предпочтительнее высевать бобово-злаковые смеси многолетних трав. Эти смеси более сбалансированы по протеину и сахарам, бобовые в таких смесях имеют менее грубый стебель, что позволяет заготавливать сено лучшего качества. Также известно, что злаковые травы великолепно оструктуривают пахотный слой земли, чего не могут бобовые травы, поскольку основная масса их корней расположена в подпахотном горизонте. А вот корневые шейки бобовых трав богаты питательными веществами и особенно кальцием, который придает прочность почвенным агрегатам. Тенденция расширения посевых площадей многолетних трав, потребует возделывания в каждом хозяйстве нескольких равномерно спевающих видов травостоя, чтобы обеспечить конвейерное поступление кормовой массы. Такое условие необходимо для заготовки качественных кормов, так как у многолетних трав оптимальный период уборки не превышает 10-12 дней от периода бутонизации. Затем идет резкое снижение показателей качества кормов. Для использования многолетних трав в течение

3 лет на пашне нецелесообразно составление сложных травосмесей. Достаточно моделировать двухкомпонентный травостой с равным соотношением бобового и злакового вида. Для этого необходимо использовать половинную норму высева каждого компонента и увеличить её на 20%. Необходимо учитывать, что семена злаковых и бобовых трав смешиваются неравномерно и в сеялке на ходу расслаиваются, их надо высевать или по отдельности, или из разных ящиков зернотравяной сеялки. Экономически наиболее выгоден сев под покров, в качестве покровных культур можно использовать ячмень, яровую пшеницу и однолетние травы. Норма высева покровной культуры обязательно снижается на 25-30%, чтобы обеспечить удовлетворительную освещенность всходам многолетних трав. Нормы высева трав при одновидовом посеве с междурядьями 15 см и соответствия семян 1 классу посевного стандарта следующие: люцерна – 18-20 кг/га, клевер – 14-16 кг/га, козлятник – 30-40 кг/га, лядвенец – 6-8 кг/га, эспарцет – 80-90 кг/га, тимофеевка – 6-8 кг/га, овсяница – 20 кг/га, кострец – 25-30 кг/га. В двухкомпонентных смесях лучше сочетаются друг с другом следующие виды: люцерна и кострец безостый, клевер луговой и тимофеевка луговая, козлятник восточный и кострец безостый, лядвенец рогатый и овсяница луговая, эспарцет песчаный и кострец безостый. Семена перед посевом пропаривают и проводят их инокулирование. Клубеньковые азотфиксаторы вполне обеспечивают азотом не только бобовый, но и злаковый компонент. Применение минерального азота даже в малых дозах ускоряет выпадение бобового компонента. По Татарстану средневзвешенное содержание в почве подвижного фосфора 142 г/кг обеспечивает получение урожая зеленой массы 30 т/га, а обменного калия 139 г/кг достаточно только 20 т/га зеленой массы. Поэтому, для получения 30 т/га следует применять ежегодную ранневесеннюю подкормку К60. После этой подкормки необходимо проборонить поле в двух направлениях тяжелыми боронами в два следа. А одновидовые посевы бобовых трав перед боронованием полезно замульчировать игольчатыми орудиями, это хорошо предотвращает испарение влаги и улучшает доступ воздуха к клубенькам.

Скашивание многолетних трав на сено лучше проводить в расстил, при этом скошенная масса равномерно и быстро сохнет. Высота скашивания для многих трав более 5 см, а козлятника – более 7 см, чтобы не повредить пазушные почки нижних листьев. Оптимальная высота скашивания многолетних трав в пределах 8-10 см. Для обеспечения наибольшего количества каротина и протеина в сене травы следует скашивать рано утром (с 4 до 9 часов). При заготовке сена прессованием в рулонах или методом активного вентилирования провяленной в поле массы потери при уборке и хранении снижаются. Для того чтобы ускорить сушку, скошенную массу ворошат или переворачивают граблями. При заготовке сенажа, так же важно быстро просушить скошенную массу до оптимальной влажности 45-55%. При соблюдении этих параметров и качественной трамбовке кормовые достоинства сенажа приближаются к свежескошенной траве. После уборки

скошенной массы с поля посевы следует проронить тяжелыми боронами, чтобы предохранить открытую почву от испарения влаги и перегрева.

Даже если рекомендуется расширение посевных площадей многолетних бобовых трав и бобово-злаковых смесей, определенное место в структуре кормовых отводится и однолетним травам, в частности, вико-овсяной смеси. Такая необходимость вызвана тем, что для создания устойчивой системы зеленого конвейера для бесперебойного обеспечения дойного стада и других видов скота зелеными кормами в летний пастбищный период необходимо иметь и посевы вико-овсяной смеси. Её высевают рано весной из расчета: вики – 100 кг, овса – 80 кг семян на гектар. В системе зеленого конвейера эта смесь используется, начиная с фазы цветения до фазы образования бобов у вики, т. е. между первым и вторым укосами многолетних трав. Ориентировочные календарные сроки использования – с 25 июня по 15 июля. Зеленая масса вико-овсяной смеси хорошо сбалансирована по содержанию основных питательных веществ – протеина и сахара.

### 3.9. Промежуточные культуры и их значение в повышении урожайности и использовании ФАР в кормовых севооборотах

В целях повышения продуктивности пашни и сбора корма, а также КПД ФАР посевов целесообразно применять промежуточные культуры. Промежуточными культурами называются такие, которые выращиваются в период, когда поле не занято основной культурой. В районах с продолжительным без морозным периодом и теплой зимой основной культурой является озимая пшеница, высеваемая во второй половине лета, после уборки которой на следующий год остается продолжительный период с неиспользуемой суммой активных температур и приходом ФАР. В качестве основных культур в различных почвенно-климатических зонах и в зависимости от потребности растениеводческой продукции могут быть кормовые культуры (однолетние травы, корнеплоды, ранний картофель и др.), после уборки которых нередко имеется возможность собрать еще один урожай другой культуры. Промежуточные культуры условно делятся на пожнивные, поукосные, подсевные и зимующие. Пожнивные - культуры, высеваемые после уборки основных зерновых или зернобобовых культур. Поукосные – культуры, высеваемые после уборки основных, убираемых (скошенных) на кормовые цели. Подсевные - культуры, семена которых подсеваются весной под перезимовавшие озимые - пшеницу или рожь. Они находятся первый период под покровом зерновых культур, а после их уборки начинают интенсивно расти, развиваться и формировать урожай. Одной из наиболее распространенных подсевных культур считается сераделла - однолетняя бобовая трава, которую используют для подсева под озимую пшеницу. Зимующие культуры – высеваются в конце лета, перезимовывают и ранней весной дают урожай корма, после чего собирается основная культура. Примером такой культуры можно назвать озимый рапс. Из

промежуточных посевов наиболее широкое распространение в производственных условиях имеют пожнивные и поукосные, однако их применение возможно при обеспеченности в определенных размерах факторами внешней среды – теплом и влагой, а культуры должны иметь короткий вегетационный период, отличаться холодостойкостью и устойчивостью к заморозкам. Минимальные условия для возделывания промежуточных культур должны быть следующие: продолжительность периода со среднесуточными температурами выше +5 °С не менее 60 суток и количеством осадков за этот период не менее 120-150 мм. В условиях Татарстана более надежно можно выращивать промежуточные культуры при орошении, а также в годы с обильными осадками во второй половине лета. В качестве промежуточных культур возможно возделывание растений для кормовых целей - холодостойких и достигающих укосной спелости через 55-65 суток после посева: рапс, овес, ячмень и травосмеси – вико-овсяная, горохо-овсяная, горохоячменная, ячменно-рапсовая, скороспелье сорта турнепса, брюквы и др. В качестве основной культуры могут быть такие культуры, крайний срок уборки которых вторая половина июля (озимая рожь на корм, однолетние травы и травосмеси, высеваемые на корм в начале мая, ранние картофель и овощи и ряд других), с тем, чтобы уже не позднее 1-ой декады августа произвести посев промежуточной культуры.

Возможности использования промежуточных культур изучались в полевых опытах Ф.Н. Сафиоллина и др. (2002) в условиях серых лесных почв Предкамья Республики Татарстан. Яровой рапс в качестве промежуточной культуры высевался после уборки озимой ржи, однолетних трав, кормосмесей, кормового проса на зеленый корм. Приведенные материалы свидетельствуют, что при соответствующих почвенно-климатических условиях можно увеличить сбор корма за счет использования промежуточных (поукосных) культур, что крайне важно с производственной точки зрения (табл. 3.19).

Таблица 3.19

Урожайность и КПД ФАР основных и промежуточных культур  
в кормовых севооборотах

Зве- нья	Культуры	Сроки сева рапса, декады и месяцы	Урожайность, ц/га		КФАР, %
			Зеленая масса	Сух. вещество	
1	Озимая рожь на з/к (основная культура)		113,8	22,76	0,57
	Рапс (поукосная)	1.06	229,6	45,8	0,64
	Сумма двух урожаев за вегетационный период		343,4	68,56	1,21
2	Однолетние травы на з/к (основная культура)		239,7	47,94	1,33

	Рапс (поукосная)	1.07	137,7	27,54	0,58
	Сумма двух урожаев за вегетационный период		377,4	75,48	1,91
3	Кормосмеси на з/к (основная культура)		326,3	65,26	1,36
	Рапс (поукосная)	2.07	106,8	21,36	0,52
	Сумма двух урожаев за вегетационный период		433,1	86,62	1,88
4	Кормовое просо на з/к (основная культура)		178,1	35,62	0,85
	Рапс (поукосная)	3.07	99,0	19,8	0,56
	Сумма двух урожаев за вегетационный период		277,1	55,42	1,41

В условиях Республики Татарстан с точки зрения использования тепловых ресурсов важность этих приемов заключается в более полном использовании теплого периода и получение двух урожаев культур, имеющих короткий вегетационный период, убираемых на корм и значительно повышается КПД ФАР.

### **Контрольные вопросы**

1. Что выражает «технология возделывания культур», «интенсивная, прогрессивная технология»?
2. Каково значение прогрессивных (интенсивных) технологий в увеличении производства растениеводческой продукции и снижении ее себестоимости?
3. Назовите основные элементы интенсивной технологии и обоснуйте применение каждого из элементов.
4. Какую роль выполняет программирование урожаев сельскохозяйственных культур в разработке и применении прогрессивных технологий интенсивного типа?
5. Какова роль севооборота как элемента прогрессивных технологий?
6. Каковы причины необходимости чередования культур?
7. Какова роль многолетних трав в севооборотах?
8. Почему содержание гумуса в почве считается основным показателем плодородия?
9. Как влияет состав возделываемых в севообороте культур на воспроизведение гумуса почвы?
10. Каково значение кормовых севооборотов в обеспечении животноводства полноценными кормами и их классификация.
11. Каковы требования, предъявляемые к кормовым севооборотам?
12. Каковы особенности набора культур и построение кормовых севооборотов?

13. Какое значение промежуточных культур в повышении продуктивности севооборотов?
14. Необходимые условия применения промежуточных посевов и особенности их использования.

## Глава 4. Разработка конкретных мер по борьбе с вредителями, болезнями и сорняками, обеспечивающих выращивание здоровых растений

### 4.1. Возможные потери урожая полевых культур от вредителей, болезней и сорняков

Возникающие частные вопросы защиты растений подробно рассматриваются в соответствующих учебных и научных дисциплинах: энтомология, фитопатология, защита растений, земледелие и др. В этой главе учебного пособия ставится задача рассмотреть наиболее общие вопросы и проблемы по защите растений. Они в свою очередь связаны с факторами, оказывающими серьезное влияние на фитосанитарную безопасность.

Это изменение климата, в том числе и в зоне Среднего Поволжья, привело к значительным изменениям агроэкологических параметров, определяющим развитие вредных организмов. С увеличением суммы эффективных температур за вегетационный период растений произошли изменения в видовом составе вредителей и болезней, в характере прохождения ими основных этапов развития, в количестве генераций и вредоносности.

Это переход на ресурсосберегающие технологии, где снизились интенсивность обработки почвы и использование химических средств оказавших влияние на популяции вредных объектов, особенно связанных в своем развитии с почвенной средой.

Это рост стоимости ресурсов, экономические трудности сельскохозяйственных предприятий, приведшие к снижению возможностей управления фитосанитарной обстановкой.

Это существующие в последнее время кадровые проблемы и уровень компетенции специалистов в области защиты растений не позволяют гибко реагировать на изменения фитосанитарной ситуации.

В системе земледелия Республики Татарстан приводится возможные ежегодные потери от вредных биологических объектов по республике (табл. 4.20).

Таблица 4.20  
Возможные ежегодные потери урожая полевых культур от вредных биологических объектов в РТ, %

Культура	Сорные растения	Вредители	Болезни	Суммарные потери, %
Пшеница	12,3	9,3	12,4	34,0

Сахарная свекла	19,6	6,2	9,1	34,9
Картофель	8,9	16,1	16,4	41,4
Рапс яровой	11,3	15,2	4,1	30,6

Своевременный анализ фитосанитарного состояния посевов основных полевых культур позволяет выделить наиболее опасные тенденции, угрожающие фитосанитарной безопасности во всех агропроизводственных зонах Татарстана.

Убытки, причиняемые вредителями в растениеводстве, очень велики. С увеличением суммы эффективных температур увеличилась распространенность насекомых с колюще-сосущим ротовым аппаратом – трипсов, тлей и клопов-черепашек. Для зерновых колосовых весьма опасна вредная черепашка. Этот клоп причиняет вред всем культурам, но больше всего – пшенице, повреждая узел кущения, стебель, зерно. Часть поврежденного зерна в ранней фазе созревания усыхает или становится щуплой. В муке, полученной от размола поврежденного зерна, сохраняются ферменты, которые попали в зерно со слюной вредителя. Эти ферменты активизируются и разрушают клетчатку и крахмал, если из такой муки приготовить тесто. Тогда и хлеб получится низким, сырым и даже вредным для здоровья человека.

Большую опасность представляет увеличение численности мышевидных грызунов. Заметно улучшились условия перезимовки вредителей, так как теплые осени позволяют им лучше подготовиться к диапаузе. Остается напряженная ситуация по внутристеблевым вредителям (злаковые мухи, пилильщики и т.д.). Наблюдается значительное увеличение потерь от вредителей на горохе и яровом рапсе. Опасными многоядными вредителями остаются некоторые виды чешуекрылых. Заметный вред причиняют гусеницы совок. Широко распространены листогрызуны: совка-гамма, люцерновая, капустная и другие, которые в годы массового размножения причиняют большие убытки, повреждая капусту, сахарную свеклу, горох, многолетние травы и другие сельскохозяйственные культуры. Также особую обеспокоенность вызывает повсеместное увеличение численности проволочников, что создает очень высокие риски для картофеля, кукурузы и подсолнечника.

Относительно популяции фитопатогенов возросла распространенность и развитие некротрофных и гемибиотрофных патогенов, вызывающих болезни типа пятнистостей (септориозы, альтернариозы, гельминтопориозы, пиренофорозы и т.д.). Отмечается увеличение распространения вирусных болезней растений, что в основном связано с увеличением численности насекомых переносчиков. Крайне напряженная ситуация остается с корневыми и прикорневыми гнилями на многих полевых культурах. Для планирования фитосанитарных мероприятий необходимо проводить обследование посевов на выявление основных болезней и определение процента пораженности. Нельзя допускать перестоя зерновых на корню или

нахождения в валках, потому что это приводит к поражению возбудителями фузариоза, а также к увеличению падалицы, всходы которой обычно увеличивают накопление возбудителей септориоза, мучнистой росы и ржавчинных заболеваний. Также необходимо своевременно проводить сушку зерна до влажности 13-14% так как, на зерне при большой влажности могут развиваться фузариозные и различные плесневые грибы, снижающие всхожесть. Важно еще до уборки провести ремонт, чистку и дезинфекцию помещения для хранения зерна. Эти хранилища должны хорошо вентилироваться и быть непроницаемыми для атмосферных осадков. Важно обратить внимание на тщательную подготовку семенного материала. Посевы высшей репродукции ОС (Р-2; Р-3; суперэлита) должны быть совершенно свободными от пыльной, твердой и черной головни. Посевы первой и последующих репродукций считаются непригодными для семенных целей, если пораженность их разными видами головни (по стеблям) превышает 0,5%.

На посевах полевых культур развитие вредителей и возбудителей заболеваний растений происходит неравномерно, что связано с погодными климатическими, агротехническими, антропогенными и другими, порой непредсказуемыми факторами. Вредители и болезни могут находиться в состоянии депрессии или достигнуть размеров эпизоотии или эпифитотии, приводя в ряде случаев к катастрофическим последствиям.

Немаловажную роль в ухудшении фитосанитарной обстановки играет сорная растительность. Опасны тенденции вызванные изменениями в популяции сорняков в сторону снижения доли однолетних двудольных и роста доли наиболее вредоносных многолетних двудольных (корнеотпрысковых – виды осотов, выонок полевой) и злаковых (корневищных – пырей ползучий и др.). Увеличилась засоренность посевов сорными растениями, предпочитающими уплотненные почвы – просвирник обыкновенный, чистец полевой и др. Из числа однолетних однодольных, наряду с овсягом обыкновенным, выросла засоренность мышоем сизым, мышоем зеленым, куриным просом. В популяции двудольных сорных растений доминирующее положение получили виды устойчивые к 2,4-Д – ромашка непахучая, подмаренник цепкий, виды горцев и др. На посевах рапса опасным конкурентом является подмаренник цепкий. Корневая система сорняка обладая повышенной способностью к усвоению азота, развивает заметную конкуренцию за питательные вещества с культурой. К концу вегетации ярового рапса подмаренник имеет большую надземную массу, что особенно мешает проведению уборки урожая, потому что повышается влажность всей растительной массы, которую трудно очистить. При этом, сильно снижается производительность комбайна, ухудшается качество урожая из-за содержания семян подмаренника. Поэтому экономический порог вредоносности подмаренника цепкого в посевах рапса составляет 0,1 шт/м<sup>2</sup>.

Сорные растения расходуют большое количество продуктивной влаги, например, овсюг потребляет влаги в 1,5 раза, полынь – 2 раза, а дикая редька – в 3 раза больше, чем растение яровой пшеницы. Одновременно с почвенной влагой сорные растения выносят большое количество питательных веществ. При средней степени засоренности поля осотом розовым, этот сорняк выносит азота в 3 раза, фосфора – в 1,5 раза, калия – в 6 раз больше, чем растение яровой пшеницы. Многие сорняки являются местом обитания, а значит и распространения многих вредителей и возбудителей болезней.

Усреднённые цифры количественных и качественных потерь урожая возделываемых полевых культур свидетельствуют о значительных потенциальных возможностях увеличения урожая повреждаемых культур за счет эффективной борьбы с вредными организмами, и поэтому защита растений занимает важное место в системе мер, направленных на повышение эффективности сельскохозяйственного производства.

#### 4.2. Интегрированные системы защиты растений

Интегрированность защиты растений предусматривает научно-обоснованное использование в зависимости от конкретных условий (фитосанитарной, экологической и производственной обстановки), приемлемого сочетания технологических операций, относящихся к четырем основным методам управления численностью вредных организмов в агроценозах:

- иммуногенетическому;
- агротехническому;
- биологическому;
- химическому.

Количество вариаций определяется и зависит от разнообразия условий отдельных зон, агроландшафтов, полей, агрэкологическими особенностями вредных объектов, экономическими и производственными условиями, нормами экологических требований и т.д.

Первые два метода, иммуногенетические и агротехнические используются для решения стратегических задач. Это управление, основанное на прогнозировании, планировании, выработке обоснованных программ, способствующее не допускать или уменьшить неблагоприятное воздействие факторов на результаты производства. Базовым требованием к современным сортам и гибридам выступает их устойчивость к основным болезням и ряду вредителей. Выбор сорта определяет всю программу последующих оперативных, тактических мероприятий по контролю фитосанитарной обстановки. Поэтому основная задача системы земледелия Татарстана в этом вопросе состоит в том, чтобы довести долю устойчивых к патогенам сортов и гибридов до 25-30%.

Многочисленными исследованиями доказана, что в используемых агротехнологиях огромное значение имеет здоровье семян (от 60 до 80% всех болезней растений сохраняется на семенах). Мелкие, щуплые, травмированные семена в большей степени подвержены заражению возбудителями почвенно-семенных инфекций. Для уменьшения поражения растений корневыми и прикорневыми гнилями, засоренности зерна примесью в системе защиты растений необходимо обязательно использовать тщательную очистку и калибровку семенного материала. Важное место в подготовке семян должно уделяться их правильному хранению. В дальнейшем, для достижения наибольшей отдачи от проправливания, необходимо учитывать как результаты фитоэкспертизы семенного материала, так и особенности зараженности семян различных культур, их сортов, условия погоды, агротехнологии и т.д.

При долговременном оздоровлении агроценозов, особое значение отводится вопросам оптимизации фитосанитарного состояния почвы. Научно-обоснованный севооборот, является основой защиты растений без которого, решить задачу стабилизации фитосанитарной обстановки, в том числе и почв, не представляется возможным. Некоторые полевые культуры при оптимальных условиях развития успешно могут конкурировать с сорными растениями. Учитывая эти особенности при размещении их в севообороте можно существенно снизить засоренность и потребность в гербицидах. Уменьшению запаса инфекции в почве способствуют корневые выделения рапса, люпина, овса. Важнейшим элементом интегрированной системы защиты растений является оптимизация минерального питания культурного растения. Органические удобрения оказывают мощное положительное влияние на самоочищающуюся способность почвы от патогенов. Сбалансированное по макроэлементам и основным микроэлементам питание, позволяет значительно повысить выносивость полевых культурных растений и уменьшить потери урожая. Ощутимое влияние на развитие вредных объектов оказывают и все технологические приемы в рамках спроектированных агротехнологий. Агротехнические методы в защите растений не требуют дополнительных затрат, способны в нужном для человека направлении изменять экологическую среду, от которой зависит размножение и развитие вредных видов и их естественных врагов, и еще агротехнические приемы можно сочетать с биологическими и другими способами. В непостоянных и меняющихся погодных условиях среди приемов агротехники имеется определенный выбор оптимальных вариантов технологии возделывания и уборки культур, обеспечивающих лучшую защиту их от вредителей, болезней и сорняков. Когда планируется использование кормовых культур на сенаж, сено, зеленый корм исключается применение пестицидов, загрязняющих корма и, следовательно, животноводческую продукцию остатками ядов, поэтому необходимо применять только агротехнические, биологические и другие нехимические способы защиты растений. Когда кормовые культуры занимают

значительный удельный вес, большие возможности агротехнического метода защиты от сорняков, вредителей и болезней заложены в подборе видов кормовых культур, культивируя те, которые не только повышают сбор видами, создают условия для размножения энтомофагов, опылителей растений, микроорганизмов, подавляющих вредные виды, обуславливают общее снижение количества вредителей и болезней. В полеводстве специализация по зерновым культурам должна учитывать также широкий набор в севооборотах разных по биологии культур (зерновые, крупяные, зернобобовые), отличающихся по срокам сева и уборки, а также целесообразность внедрения комбинированных зернокормовых севооборотов. Когда в структуре посевов хозяйства имеются ряд поздно созревающих и ранесозревающих культур увеличивается значение энтомофагов. Например, энтомофаги тлей, которые питаются с начала на бобовых однолетних культурах, обычно в начале июля достигают большой численности и после созревания бобовых перелетают на кукурузу и другие поздние культуры и быстро, в течение 5-7 дней, очищают растения от тлей. Сравнительно равномерное размещение нектароносных культур (рапс, подсолнечник, эспарцет, люцерна и др.) на территории хозяйства так же обеспечивает постоянную эффективную полезную деятельность энтомофагов. При посеве кукурузы на участке с численностью более 15 особей проволочников на 1 м<sup>2</sup> становится экономически выгодным дополнительная предпосевная культивация почвы, снижающая заселенность вредителем в 2 раза, так как затраты на культивацию вполне оправданы, поскольку при культивации уничтожаются и сорняки. Превосходными полевыми севооборотами считаются те, которые не только обеспечивают производство максимального количества продукции с гектара пашни с использованием факторов внешней среды, но и одновременно служит целям защиты растений: ухудшают условия питания вредителей в каждом последующем году, уменьшают количество заразного начала болезней и обеспечивают неблагоприятную среду для развития вредных организмов.

Эффективность приемов биологической защиты зависит от качества проведения фитосанитарного мониторинга и прогноза развития вредителей и болезней. При использовании биологического метода необходимо учесть то, что для целей защиты культурных растений используются живые организмы или продукты их жизнедеятельности, поэтому эффективность их воздействия на вредные объекты во многом зависит от условий окружающей среды в момент обработки. Биологический метод защиты растений является важным звеном в выращивании безопасной сельскохозяйственной продукции, оздоровлении экологической обстановки. При использовании биопестицидов требуется:

- соблюдать недлительный допустимый срок годности биопрепаратов (эффективность препаратов сохраняется в течение 10-14 дней после их производства);

- строго соблюдать инструкции по хранению, транспортировке и применению;

- учитывать, что при неблагоприятных погодных условиях (холодная дождливая погода в период посевы-всходы или, напротив засуха) эффективность биопрепараторов снижается на 20-30%;

- контролировать чистоту используемых сельскохозяйственных машин для защиты растений с целью предупреждения их загрязнения веществами, опасными для биологических препаратов.

При использовании потенциала энтомофагов необходимо обеспечить:

- учёт соотношения между вредителями и энтомофагами;

- регламент применения энтомофагов, в первую очередь по срокам и способам применения;

- условия для привлечения естественных энтомофагов в агробиогеоценозах (создание микрозаказников, посев культур привлекающих энтомофагов);

- использование только селективных, безопасных для энтомофагов пестициды.

Химические методы контроля. Для повышения экономической эффективности и предотвращения негативного воздействия пестицидов на здоровье человека и окружающую среду необходим комплексный подход к химическому методу защиты. Основные направления совершенствования химической защиты растений в системе земледелия Татарстана является:

- разработка антирезистентной стратегии применения пестицидов;

- увеличение применения фунгицидов и инсектицидов, при стабилизации объемов работ по контролю засоренности полей; увеличение доли препаратов III и IV классов опасности для человека и теплокровных;

- повышение доли многокомпонентных препаратов с различными механизмами действия;

- уменьшение экотоксикологической опасности ассортимента пестицидов, за счет оптимизации ассортимента, снижения норм расхода и повышения качества технологических приемов и операций при работе по защите растений;

- широкое внедрение достижений биотехнологии, а также использование географических информационных систем при проведении работ по химической защите растений;

- совершенствование организации системы подготовки кадров, контроля качества и экологической безопасности работ с пестицидами.

В последние годы в мировом земледелии ведущее место в защите растений стали занимать химические методы, благодаря применению которых сокращается существенная часть потенциальных потерь урожая, потому что по мере увеличения производства проявляется тенденция применения все возрастающих количеств пестицидов, что наносит серьезный ущерб окружающей среде. Защита растений, как конечное звено в технологии возделывания культуры, по существу определяет эффективность и других, в

том числе наиболее емких, энергетических вложений, потому что сорняки, вредители и болезни прямо или косвенно используя вносимые удобрения, снижают эффективность других элементов технологии. Эффективность и практическая доступность метода уничтожения вредных организмов с помощью пестицидов, а сорняков с помощью гербицидов способствовало тому, что применение их часто стало занимать главное место в технологии возделывания полевых культур в ущерб менее опасным для окружающей среды агротехническим приемам. Массовое и неконтролируемое использование средств химической защиты приводит к накоплению их в почве, водоемах, в живых организмах, возникновению устойчивых к пестицидам популяций вредителей, нарушению естественных биоценозов и резкому уменьшению их способности к саморегуляции, появлению новых, экономически значимых вредителей. Негативное воздействие при одностороннем использовании синтетических пестицидов и гербицидов на окружающую среду ставит важнейшую задачу совершенствования химических средств защиты растений, поиска новых путей борьбы с вредителями, болезнями и сорняками в дополнение к традиционным методам. Многочисленные научные исследования показывают, что применение отдельных, даже самых эффективных приёмов защиты растений не может обеспечить долговременного подавления численности вредных организмов. Более эффективных результатов можно достигнуть лишь при систематическом комплексном применении всех доступных профилактических и истребительных мероприятий. Предстоит большая работа по поиску новых эффективных гербицидов и пестицидов, обладающих низкой, острой и хронической токсичностью, умеренной стойкостью, отсутствием кумулятивного эффекта, избирательностью действия и безопасностью для полезных организмов. По поиску гербицидов, не накапливающих вредных веществ в растениях и относительно быстро разлагающихся в почве.

Современные интегрированные методы защиты растений предполагают не только простое истребление отдельных видов вредных организмов, но также длительное сдерживание комплекса вредных организмов на безопасном уровне с минимальными негативными последствиями для окружающей среды. Интегрированная система защиты растений продуманно усматривает набор таких средств и методов подавления вредных организмов, которые способствуют не только сохранению, но и активизации деятельности полезных организмов. Современная интегрированная защита растений является системой мер управления внутри и межпопуляционными отношениями в пределах конкретного агроценоза, а применение истребительных средств должно проводиться с учетом наличия численности естественных сдерживающих факторов размножения вредных объектов.

В зарубежных источниках синонимом понятия «интегрированная борьба» считается термин «управление популяциями вредителей», которая в свою очередь должна основываться на ряде взаимосвязанных элементов:

- выращиванию сортов, устойчивых к болезням и вредителям;
- высокой агротехнике, обеспечивающей получение полноценных растений, устойчивых к различным неблагоприятным условиям, включая использование специальных агротехнических приемов по профилактике или подавлению развития отдельных вредных объектов;
- использованию приемов, сохраняющих и активизирующих деятельность природных энтомофагов и других организмов, регулирующих численность вредителей, фитопатогенезов и сорняков;
- использованию активных мер подавления численности вредных организмов (биологических и химических) на основе детального анализа агробиологического ценоза и объективной оценки ожидаемого развития вредителей и количества ущерба;
- целенаправленную работу по совершенствованию ассортимента используемых пестицидов и гербицидов, проявляющих избирательность действия и не оказывающих отрицательного влияния на полезных насекомых и полученную сельскохозяйственную продукцию.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие средние размеры потерь урожая сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней, сорняков?
2. Какие культуры в наибольшей степени повреждаются вредителями и болезнями?
3. Назовите наиболее опасные и распространенные сорные растения.
4. Какие существуют основные методы борьбы с вредителями, болезнями и сорными растениями?
5. Обоснуйте понятие «интегрированная система защиты растений» и назовите ее основные элементы.
6. Опишите положительные и отрицательные стороны применения химических средств борьбы с вредителями, болезнями растений, сорняками.
7. Обоснуйте требования, которым должны отвечать гербициды и другие пестициды с точки зрения охраны окружающей среды.
8. Назовите основные аспекты системы агротехнических мероприятий борьбы с вредителями, болезнями и сорняками, позволяющих исключить или сократить применение пестицидов и гербицидов на посевах полевых культур.
9. Какая роль энтомофагов в борьбе с вредителями растений. Какие приемы способствуют увеличению их численности и расселению?
10. Каково значение севооборотов, подбора и чередования культур в них в борьбе с вредителями, болезнями, сорняками.

## Глава 5. Использование географических информационных систем при программировании урожаев полевых культур

### 5.1. Географические информационные системы (ГИС)

Последние тридцать лет XX века человечество интенсивно развивало инструментальные средства, названные географическими информационными системами (ГИС). Основные компоненты ГИС исключительно технологические, включающие в себя современные хранилища пространственных данных, телекоммуникационные сети и усовершенствованную вычислительную технику. В последние 50 лет, процесс сохранения и использования пространственных данных был сильно трансформирован стремительным развитием микроэлектроники. Аппаратная платформа и программное обеспечение ГИС – это основной технологический результат, потому что получение и обработка пространственных данных значительно ускорились за прошедшие тридцать лет и продолжает неустанно развиваться. Географическая карта это отражение, модель земной поверхности на бумаге или на мониторе компьютера. Специалисту достаточно быстрого взгляда на географическое расположение каких-либо явлений или объектов на карте для того, чтобы понять и оценить закономерности их возникновения и связи с другими параметрами. Цифровая карта это цифровая модель поверхности, которая сформирована с учетом законов картографической генерализации в принятых для карт проекции, разграфке, системе координат и высот. Цифровая карта служит основой для изготовления электронных карт, она входит в состав картографической базы данных, является одним из важнейших элементов информационного обеспечения ГИС и одновременно может быть результатом функционирования ГИС. ГИС позволяет картировать объекты окружающего мира, а затем анализировать их по огромному количеству параметров. Эта система также позволяет визуализировать их на экране и на основе этих данных можно прогнозировать самые различные события и явления. В этой информационной системе изображения представляют собой детализированные слои, объединенные по географическому признаку и привязанных к определенной системе координат.

Базы данных ГИС позволяют выполнять пять различных задач.

1. Мы можем осуществлять ввод нужных для нас данных в базу, причем это возможно сделать автоматически при помощи сканера.
2. Мы можем манипулировать данными, которые находятся в системе, масштабировать их по своему усмотрению, собирать необходимые для решения определенной задачи сведения.
3. Системой ГИС, как и обычными базами данных, можно управлять. Это возможно при использовании целого набора интегрированных приложений.

4. Большой объем данных, содержащихся в базе ГИС, дает широкие возможности для анализа по самым различным направлениям.

5. Еще одна задача, которую позволяет выполнять ГИС, это визуализация данных. Вы можете получить необходимые для вас карты, графики, таблицы и фотографии конкретной местности.

Ознакомившись с возможностями этой системы и выявив взаимосвязь между различными показателями, вы можете разрабатывать более эффективные технологии работы, экономить свое время и достаточно большие средства. Можно сделать анализ, как соотносится между собой тип почвы, климат и урожайность определенных сельскохозяйственных культур, и понять, где лучше всего заниматься их выращиванием. Будучи специалистом в конкретной сфере и задав определенные критерии поиска, вы легко можете найти необходимый вам объект, и, не тратя лишнего времени, заниматься его освоением. В наиболее общем смысле геоинформационные системы – это инструменты для обработки пространственной информации, обычно привязанной к некоторой части земной поверхности, и используемые для управления ею (М. ДеМерс). ГИС – это интегрированная компьютерная система, находящаяся под управлением специалистов-аналитиков, которая осуществляет сбор, хранение, манипулирование, анализ, моделирование и отображение пространственно соотнесенных данных.

Из различных источников мы знаем, что первые геоинформационные системы появились в Канаде и Швейцарии. Известно, что Канадская ГИС разрабатывалась в Министерстве лесного и сельского хозяйства под руководством доктора Р. Томлинсона в 1963-1971 гг. для учёта земельных ресурсов и составления прогноза на ближайшие десятилетия. В этой системе должны были решаться сложные задачи, чтобы можно было разработать стратегию управления земельными ресурсами, чтобы эксплуатация ресурсов шла без ущерба для окружающей среды и будущих поколений. Разработанная тогда система считается классической и самой цитируемой в мире. В тоже время, подобную информационную систему внедрили в Швейцарии, также для создания земельных кадастров.

## 5.2. Использование ГИС при программировании урожаев полевых культур

Сельское хозяйство является одним из важнейших отраслей материального производства. Большие площади полей, огромное количество транспортных средств и людей, занятых в сельском хозяйстве определили потребность в разработке качественно новых методов управления земельными ресурсами и этим сложным и многогранным производством. Поэтому, одним из наиболее перспективных направлений эффективного управления сельскохозяйственным производством несомненно является использование информационных систем на базе геоинформационных технологий. Эти геоинформационные системы позволяют решать следующие задачи:

- планирование агротехнических операций включенных в технологию;
- мониторинг состояния посевов и проводимых агротехнических операций;
- информационная поддержка принятия решений;
  - прогнозирование урожайности культур по участкам поля и оценка потерь;
  - планирование, мониторинг и анализ использования техники и транспорта.

Для использования в сельскохозяйственном производстве и обеспечения руководителей комплексом необходимой для принятия управленческих решений информации на платформе ГИС создается база данных, содержащая:

- цифровую карту, модель местности, на которой осуществляются агротехнические операции технологии производства культуры;
- сведения о дистанционном зондировании необходимой территории;
- информацию о свойствах, агрохимических, агрофизических, микробиологических характеристиках почв;
- карты посевов по годам, соблюдение севооборота;
- историю системы основной обработки полей и т.д.

Для эффективного использования этой системы в сельском хозяйстве, агрономическая ГИС должна содержать многослойную электронную карту хозяйства и атрибутивную базу данных истории полей с информацией о всех агротехнических мероприятиях. В формировании урожая сельскохозяйственных культур участвует много факторов, поэтому обязательно должны быть включены в базу данных слои мезорельефа, сведения о крутизне склонов, и их экспозиции, микроклимате, уровне грунтовых вод, содержании гумуса в почве и т.д. В ГИС атрибутивная база данных, содержащая данные различного характера, связана со слоями электронной карты. В ГИС для сельского хозяйства привязку начинают с гидографической сети, овражно-балочного комплекса, в большинстве случаев дополняют дорожной сетью и другими объектами. К конкретным объектам цифровой карты также привязывают пользовательские базы данных, включающие информацию о посевных площадях, данные о состоянии почв, количестве элементов питания для растений и др. Применение таких методов позволяет получать детализированную информацию об обширных территориях (сельскохозяйственное предприятие, агроландшафт района и т.д.). Эти методы, бесспорно, дают возможность определения конфигурации полей, их ориентировки в определенном агроландшафте, площади, направления вспашки, состояния полей на момент съемки и способствуют оперативной оценке сельскохозяйственных угодий.

Современные информационные системы управления на базе геоинформационных технологий играют немаловажную роль в планировании и в программировании агротехнических операций в технологии производства полевых культур. В технологии производства полевых культур использование методов программирования урожаев на много облегчается,

когда мы пользуемся еще одним современным инструментом ГИС. При составлении всей технологии для конкретного товаропроизводителя мы можем использовать ГИС-технологии в агротехническом планировании следующих работ:

- обмер всех полей (путем обьезда по контуру с высокоточным GPS-оборудованием);
- составление структуры посевных площадей по хозяйству и необходимых севооборотов в формате векторной электронной карты;
- расчет потенциальных возможностей всех участков и эффективности кадров и земельных ресурсов;
- детальный анализ потребности в технике и оборудовании для запланированных производств;
- расчет необходимого количества удобрений для использования по всему хозяйству и по отдельным севооборотам, полям и участкам полей;
- разработка программы или формирование очередности операций обработки почвы, внесения удобрений и средств защиты.

Планирование или программирование, осуществляемое на основе ГИС-технологий позволяет, во-первых сократить простоя в работе в случае нехватки кадров или техники, во-вторых снизить стоимость агротехнических операций на единицу обрабатываемой площади и в третьих улучшить показатели урожайности.

При мониторинге агротехнических операций и состояния посевов осуществляется регистрация всех агротехнических операций, затрат на их проведении, фиксация состояния посевов в определенный период посредством наземных измерений, экспертных оценок агрономов и данных дистанционного зондирования поверхности Земли (аэро- и космических снимков). При проведении мониторинга важны данные агрохимического анализа почв не только в целом поля, а по каждому рабочему участку поля. И чем меньше размеры этих участков, тем точнее результаты при моделировании урожайности культуры на отдельных участках и в целом по полю. Эти данные могут быть получены двумя способами:

- в результате собственных изысканий товаропроизводителя с применением пробоотборников и лабораторий по анализу проб;
- в результате агрохимических обследований, выполненных специализированной организацией по договору.

При агрохимическом обследовании, по точечным замерам программа формирует поверхность характеризующую распределение питательных элементов по всей территории. Данный метод позволяет выявить локальные особенности на каждого рабочем участке поля, поскольку показывает распределение данных, а не их усредненное значение. Возможно, для ряда расчетов необходимо оперировать едиными показателями уровня содержания питательных веществ в почве в пределах одного участка. При этом, используемая программа позволяет рассчитать по распределенному показателю одно значение различными методами. Второй способ

агрохимического мониторинга является более перспективным, поскольку готовит данные для дифференцированного внесения удобрений. Результаты проведенных анализов по наиболее важным веществам, в первую очередь, N, P, K, а также в ряде случаев других элементов и соединений, заносятся в специализированное программное обеспечение, которое позволяет обработать полученный результат и получить карту распределения химических элементов в почве. Данная карта используется при создании технологической аппликационной карты дифференцированного внесения, а также для принятия решений при расчёте необходимого количества удобрений. Полученная информация переносится на бортовой компьютер посредством чип-карты. На основании полученной аппликационной карты система бортового компьютера обеспечивает автоматическое управление дозаторами через мобильный терминал агрегата. Положительный эффект от внедрения этой системы: Уменьшение количества разбрасываемых удобрений и увеличение урожайности.

Когда есть возможность использовать ГИС удобно проводить анализ всех проведенных агротехнических операций и отображение этой информации в виде карт, таблиц, графиков или текста. Программа выстраивается так, что учитывается поступление продукции с полей, реализация зерна с поля и с тока. При этом вариации могут быть различны, что данные могут собираться как с диспетчерского центра, так и сниматься с электронных весов установленных на складах или токах. Для дальнейшего анализа принимается во внимание расходование пестицидов и удобрений. Для формирования оптимального количества растений на единице площади изучается объем расходования семян при посеве по каждой культуре, сорту по полям и участкам. Уточнять и снижать расходование семян и удобрений становится возможным, например, при сведении к минимуму перекрытий посевных полос, используя систему параллельного вождения.

Прогнозирование урожайности полевых культур строится на методах наблюдения за состоянием посевов с учетом влияния природно-климатических условий при использовании определенной технологии производства. Прогнозирование позволяет отслеживать динамику развития сельскохозяйственных культур, условий вегетации, определять сроки их созревания и оптимальные сроки начала уборки, проводить экономический анализ при минимальном и максимальном уровнях урожайности стабильно возможных для конкретных условий. С учетом полученного прогноза урожайности культуры на различных участках поля можно принять решение о дифференциированной обработке полей (использование удобрений, гербицидов и агрохимикатов). С другой стороны, можно корректировать и другие технологические приемы, проанализировать возможные потери в соответствии с потенциалом урожая на бедных землях. Для более точного определения уровня урожайности на полях хозяйства становится возможным использование системы компьютерного мониторинга. Более эффективное функционирование картографической системы хозяйства возможно только

при объединении разнородной информации в единую пространственную базу данных.

Использование технической базы сельскохозяйственных предприятий также не остается в стороне от применения геоинформационных технологий. Она во многом облегчает планирование технологических операций тем, что включает:

- составление графиков использования техники и ее ремонта по всему хозяйству;
- анализ использования техники и горюче-смазочных материалов при возделывании культуры;
- определение оптимальных маршрутов движения и транспортировки техники и материалов от базы до обрабатываемых полей;
- определение оптимальных маршрутов доставки и сохранность урожая до пунктов приема;
- контроль за скоростью перемещения техники при выполнении полевых работ по уходу за растениями;
- определение длины гона или оптимального расстояния между полями и пунктами закладки на хранение продукции по цифровой карте;
- оперативное оформление учетных листов трактористов-машинистов.
- оперативное формирование путевых листов автотранспорта.

Автоматизированное рабочее место агронома с использованием ГИС-технологий способствует своевременно проводить:

- ведение истории полей по урожайности, культурам, применяемым удобрениям и средствам защиты;
- планирование внесения удобрений с учетом индивидуальных особенностей полей, участков;
- оценку качества работ и выработке предложений по их планированию.

Попытки наладить использование программирования урожайности полевых культур, эффективное и осмысленное управление в сельском хозяйстве наталкиваются на массу препятствий. В первую очередь – это отсутствие достоверных сведений, как о местности, так и о характере землепользования.

Обновление картографического материала, ранее осуществлявшееся на средства государства, практически прекратилось. У товаропроизводителей не хватает средств, для обновления этих карт, работа осуществляется на основании карт 10-15 летней давности, не отражающих реалии сегодняшнего дня. Кроме того, меняются характеристики почв и вегетации на различных участках полей, а также от участка к участку. Эти данные, во-первых, должны быть в распоряжении специалистов для прогноза и анализа урожайности, а, во-вторых, лежать в основе агротехнических планов применительно к каждому конкретному полю или участку, в противном случае потеря и неэффективных расходов избежать не удастся.

Современные агротехнологии должны быть составлены с использованием программирования урожая сельскохозяйственных культур

и ГИС. Эти технологии являются инструментом, обеспечивающим решение трех основных задач, обуславливающих успех в условиях современного рынка – наличие своевременной объективной информации, способность принять верные управленческие решения и возможность реализовать эти решения на практике.

При разработке технологии на основе оптимального программирования урожаев очень важно своевременный учет всех меняющихся факторов. Использовании ГИС, в частности электронная карта полей дает возможность вести строгий учет и контроль всех сельскохозяйственных операций, поскольку опирается на точные знания: площадей полей, протяженности дорог, информации о полях и конкретных участках. На основании карты полей проводится полный анализ условий, влияющих на рост и развитие растений на данном конкретном поле (или даже на участках 100x100 м или 10x10 м). Карты полей составляют основу для составления структуры посевных площадей, севооборота и служат оптимизации производства с целью получения максимальной выгоды, а также рационального использования всех участвующих в производстве факторов и ресурсов. Электронные карты полей дают возможность точно вести планирование, учет и контроль всех сельскохозяйственных операций, а также программировать уровень урожайности, поскольку опираются на объективные размеры площадей полей, протяженность дорог и других объектов, нанесенных на нее в процессе создания. Решение этих взаимосвязанных задач возможно за счет применения специализированных технических средств и программного обеспечения.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите определение географических информационных систем (ГИС)?
2. Какие задачи решает ГИС?
3. Что вы понимаете под базовыми компонентами ГИС?
4. Почему в ГИС используется цифровая картография?
5. Назовите сферы применения ГИС?
6. Какие задачи позволяют решать геоинформационные системы?
7. Какие преимущества цифровых карт перед бумажными картограммами и картами?

## Литература

1. Алиев, Ш.А. Агрохимическая и агроэкологическая оценка почв Республики Татарстан /Ш.А. Алиев, В.З. Шакиров, С.Ш. Нуриев. – Казань. Центр инновационных технологий, 2005. – 160 с.
2. Афендулов, К.П. Удобрения под планируемый урожай /К.П. Афендулов, А.И. Лантухова – М., Колос, 1973. – 240 с.
3. Вильямс, В.Р. Почвоведение /В.Р. Вильямс. – М., Сельхозгиз, 1949. – 471 с.
4. Зиганшин, А.А. Современные технологии и программирование урожайности /А.А. Зиганшин. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2001. – 172 с.
5. Зиганшин, А.А. Интенсивные технологии и программирование урожайности /А.А. Зиганшин. – Казань: Татарское кн. изд-во, 1987. – 112 с.
6. Зиганшин, А.А. Факторы запрограммированных урожаев /А.А. Зиганшин, Л.Р. Шарифуллин. – Казань: Татарское кн. изд-во, 1974. – 176 с.
7. Зиганшин, А.А. Севообороты Татарии /А.А. Зиганшин, Р.А. Аглиуллин. – Казань: Татарское кн. изд-во, 1973. – 128 с.
8. Иванов, А.Ф. Теоретические основы программирования урожаев [Текст] / А.Ф. Иванов, В.И. Филин // Сельскохозяйственная биология. – 1979. - №3. – С. 323-330.
9. Каюмов, М.К. Справочник по программированию продуктивности полевых культур. – М., Россельхозиздат, 1982. – 288 с., ил.
10. Климов, А.А. Программирование урожая: Постановка и обоснование проблемы [Текст] / А.А. Климов, Г.Е. Листопад, Г.П. Устенко // Труды Волгоградского СХИ. – Т. 36. – Волгоград, 1971. – 574 с.
11. Листопад, Г.Е. Теоретические основы программирования высоких урожаев и технология возделывания сельскохозяйственных культур [Текст] / Г.Е. Листопад, А.Ф. Иванов, В.И. Филин // Биологические и агротехнические основы орошаемого земледелия. – М.: Наука, 1983. – С. 185-192.
12. Лорх, А.Г. Динамика накопления урожая картофеля /А.Г. Лорх. – М., Сельхозгиз, 1948. – 192 с.
13. Можаев, Н.И. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур /Н.И. Можаев, Н.А. Серикпаев, Г.Ж. Стыбаев. – Астана: Фолиант, 2013. – 160 с.
14. Минеев, В.Г. Химизация земледелия и природная среда / В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1990. – 286 с.
15. Ничипорович, А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев: XV Тимирязевское чтение [Текст] / А.А. Ничипорович. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 93 с.
16. Переведенцев, Ю.П. Изменения климатических условий и ресурсов Среднего Поволжья: учебное пособие по региональной климатологии /

- Ю.П. Переведенцев, М.А. Верещагин, К.М. Шанталинский, Э.П. Наумов, Ю.Г. Хабутдинов [и др.]; науч. ред. Э.П. Наумов. – Казань: Центр инновационных технологий, 2011. – 296 с.
17. Прянишников, Д.Н. Агрохимия /Д.Н. Прянишников. – М., Сельхоз, 1940. – 644 с.
18. Салихов, А.С. Ресурсосберегающие приемы в земледелии Среднего Поволжья /А.С. Салихов. – Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2008. – 200 с.
19. Сафиоллин, Ф.Н. Клевер луговой: на корм и семена /Ф.Н. Сафиоллин, К.Х. Галиев// Учебное пособие для студентов. – Казань, 2005. – 228 с.
20. Система земледелия Республики Татарстан. Инновации на базе традиций. Ч. 1. Общие аспекты системы земледелия. – Казань: Центр инновационных технологий, 2014. – 168 с.
21. Тимирязев, К.А. Жизнь растения /К.А. Тимирязев. Избр. соч., т. VI, Москва, СХГ, 1949.
22. Филин, В.И. Справочная книга по растениеводству с основами программирования урожая [Текст] / В.И. Филин. – Волгоград: Волгоградская ГСХА, 1994. – 274 с.
23. Шатилов, И.С. Принципы программирования урожайности [Текст] / И.С. Шатилов // Вестник с.-х. наук. – 1973. – № 3. – С. 8-14.
24. Шатилов, И.С. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая (принципы АСУ ТП в земледелии) [Текст] / И.С. Шатилов, А.Ф. Чудновский. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1980. – 320 с.

## СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ (ГЛОССАРИЙ)

**Рост растений** – увеличение размеров и массы растений.

**Развитие растений** – качественные изменения структуры и функций отдельных органов растения в онтогенезе, переход его из одного этапа органогенеза в другой, из одной фазы развития в другую.

**Онто́генез** у однолетних культур – развитие растения от семени до семени, у многолетних – от прорастания семян до отмирания растения.

**Вегетационный период** у однолетних культур – период от посева семян до созревания, у многолетних – от весеннего пробуждения почек до осеннего прекращения роста вегетативных органов, перехода в состояние покоя.

**Фитоценоз** (фито – растение, ценоз – сообщество) – растительное сообщество. Естественный фитоценоз – устойчивое многовидовое растительное сообщество. Агроценоз – одновидовое или многовидовое сообщество растений, искусственно создаваемое человеком (чаще всего это культуры, выращиваемые на пашне).

**Урожай** – продукция, полученная в результате выращивания сельскохозяйственных культур.

**Урожайность** – урожай сельскохозяйственной культуры с единицы площади посева. Урожайность – это способность культуры, сорта давать урожай.

**Потенциальная урожайность (ПУ)** – урожай с единицы площади, обеспечиваемый приходом энергии ФАР при оптимальном режиме агрометеорологических факторов в течение вегетации сельскохозяйственных культуры.

**Действительно-возможная урожайность (ДВУ)** – уровень урожая сельскохозяйственной культуры, который может быть достигнут на конкретном поле (с учетом его реального плодородия), в конкретных метеорологических условиях (преимущественно определяется по условиям влагообеспеченности и обеспеченности элементами минерального питания).

**Плодородие почвы** – совокупность свойств почвы, обеспечивающих необходимые условия для жизни растений.

**Структура посевных площадей** – соотношение площадей посевов различных групп или отдельных сельскохозяйственных культур.

**Севооборот** – научно обоснованное чередование сельскохозяйственных культур и паров во времени и на территории или только во времени.

**Виды севооборотов** – севообороты, различающиеся по соотношению групп основных сельскохозяйственных культур и паров.

**Почвозащитный севооборот** – специальный севооборот, в котором состав, чередование, размещение и агротехника сельскохозяйственных культур обеспечивают защиту почвы от эрозии.

**Покровная культура** – сельскохозяйственная культура, под покров которой высевается подсевная культура.

**Предшественник** – сельскохозяйственная культура или пар, занимавшие поле до посева последующей в севообороте культуры.

**Чистый пар** – паровое поле, свободное от возделываемых сельскохозяйственных культур.

**Занятый пар** – паровое поле, часть вегетационного периода занятое рано убираемыми сельскохозяйственными культурами.

**Обработка почвы** – воздействие на почву рабочими органами машин и орудий с целью улучшения почвенных условий жизни сельскохозяйственных культур и уничтожения сорняков.

**Отвальная обработка** – обработка почвы отвальными орудиями с полным или частичным обрачиванием её слоев.

**Вспашка** – прием обработки почвы плугами, обеспечивающий обрачивание обрабатываемого слоя не менее чем на  $135^{\circ}$  и выполнение других технологических операций.

**Мелкая обработка** – обработка почвы на глубину от 8 до 16 см.

**Сорные растения (сорняки)** – дикорастущие растения, обитающие на сельскохозяйственных угодьях и снижающие величину и качество урожая.

**Засоренность посева** – количество сорняков или величина их массы на единице площади посева.

**Экономический порог вредоносности** – минимальное количество сорняков, полное уничтожение которых обеспечивает получение прибавки урожая, окупющей затраты на истребительные мероприятия и уборку дополнительной продукции.

**Система удобрения** – комплекс агротехнических и организационно-хозяйственных мероприятий по наиболее рациональному применению удобрений для повышения урожайности культур и плодородия почвы.

**Доза удобрений** – количество удобрений, вносимых под сельскохозяйственную культуру за один прием.

**Норма удобрений** – количество удобрений на 1 га.

**Качество почв** – совокупность свойств почв, определяющая характер и эффективность участия почв в обеспечении благоприятной среды для обитания человека, растений и животных.

**Плодородный слой почвы** – верхний слой почвы, обладающий благоприятными для роста растений свойствами.

**Загрязнение почв** – поступление в почвы и накопление в них вредных химических, радиоактивных веществ, микроорганизмов, которые ухудшают качество почв, негативно воздействуют на другие компоненты природной среды и окружающую среду в целом.

**Истощение почв** – изменение структуры и свойств почв, характеризующееся уменьшением содержания питательных веществ, приводящим к снижению их плодородия.

**Защита растений интегрированная** – система управления фитосанитарным состоянием экосистем путем комплексного использования

различных средств и методов защиты растений с целью обеспечения фитосанитарного благополучия территории.