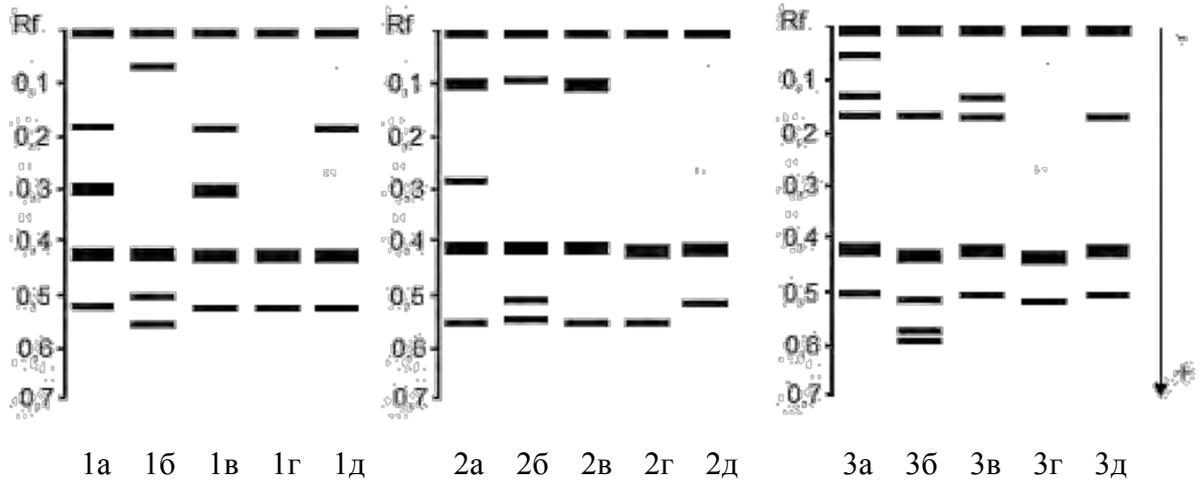


## А



## Б

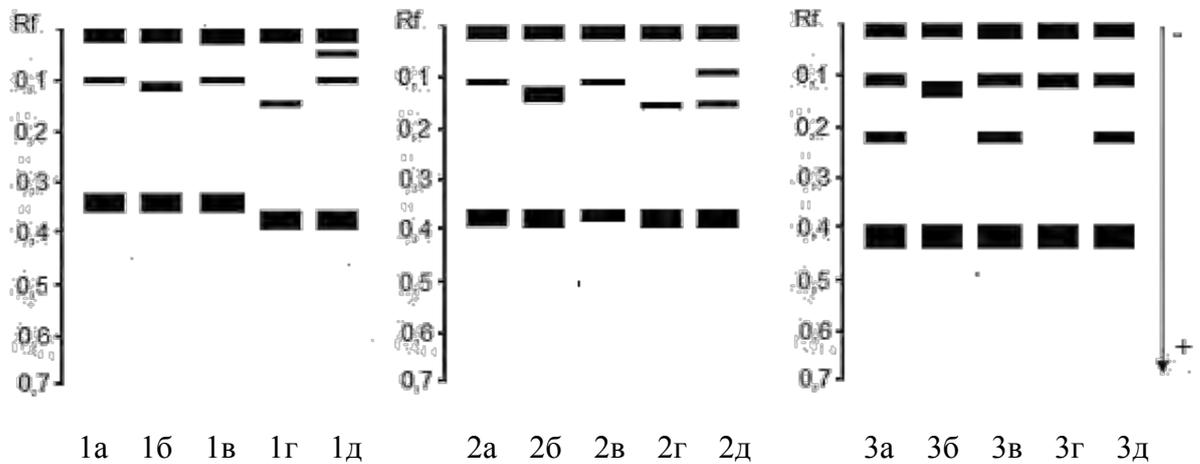


Рисунок 53 – Схемы электрофоретических спектров пероксидазы (А), каталазы (Б) в семенах сортов сои: 1 – Соната, 2 – Гармония, 3 – Даурия; а – здоровые, пораженные: б – пероноспорозом, в – пурпурным церкоспорозом, г – фузариозом, д – бактериозом

Из данных, представленных в таблице 52, видно, что активность пероксидазы проростков сои изменяется относительно контроля (проростков из здоровых семян). Под влиянием патогенов нарушается обмен веществ не только в пораженных семенах, но и в проростках, полученных из них. При этом наблюдались различия в реакции проростков разных сортов сои на инфекцию. Увеличение активности пероксидазы в 1,3 раза относительно контроля происходит в проростках сорта Соната, полученных из семян, пораженных пероноспорозом. Во всех проростках сорта Даурия,

выращенных из инфицированных семян, активность пероксидазы ниже, чем в контроле. В проростках сорта Гармония активность пероксидазы под влиянием инфекции изменяется незначительно (прил. Н, табл. Н.3). Согласно литературным данным, стабильная энзиматическая система свойственна устойчивым растениям (Серова З.Я., Подчуфарова Г.М., Гесь Д.К., 1982). В проростках всех сортов, полученных из семян, пораженных бактериозом, активность фермента снижается.

Активность каталазы в проростках сои, полученных из пораженных семян, зависит от вида возбудителя (табл. 53, прил. Н, табл. Н.4). В семенах, пораженных пероноспорозом, и проростках, полученных из них, отмечено незначительное увеличение активности каталазы. В проростках сорта Соната увеличение активности фермента по сравнению с контролем составило 42%, у сорта Гармония только 13%. В проростках, полученных из семян, пораженных бактериозом, наблюдается снижение активности каталазы в большей степени у сорта Гармония – на 24%.

На стадии проростков, полученных из здоровых семян разных сортов сои, выявлено две формы пероксидазы. У сорта Гармония в электрофоретическом спектре обнаружена дополнительная зона с Rf 0,57. Здоровые проростки восприимчивого к пероноспорозу сорта Даурия и полученные из семян, пораженных пероноспорозом, содержат минорные молекулярные формы со средней электрофоретической подвижностью. В проростках всех исследованных сортов сои, с признаками бактериоза, несмотря на снижение активности пероксидазы, количество молекулярных форм увеличивается, это происходит в результате конформационных преобразований молекулы фермента (рис. 54А).

Количество множественных молекулярных форм каталазы в проростках сои всех исследованных сортов, полученных из здоровых семян, было одинаковым (три формы), но имели они разную подвижность. В проростках, полученных из семян, пораженных пероноспорозом и пурпурным церкоспорозом количество форм такое же, как в контроле и

только проростки, полученные из семян, пораженных бактериозом, содержали по две формы каталазы (рис. 54Б).

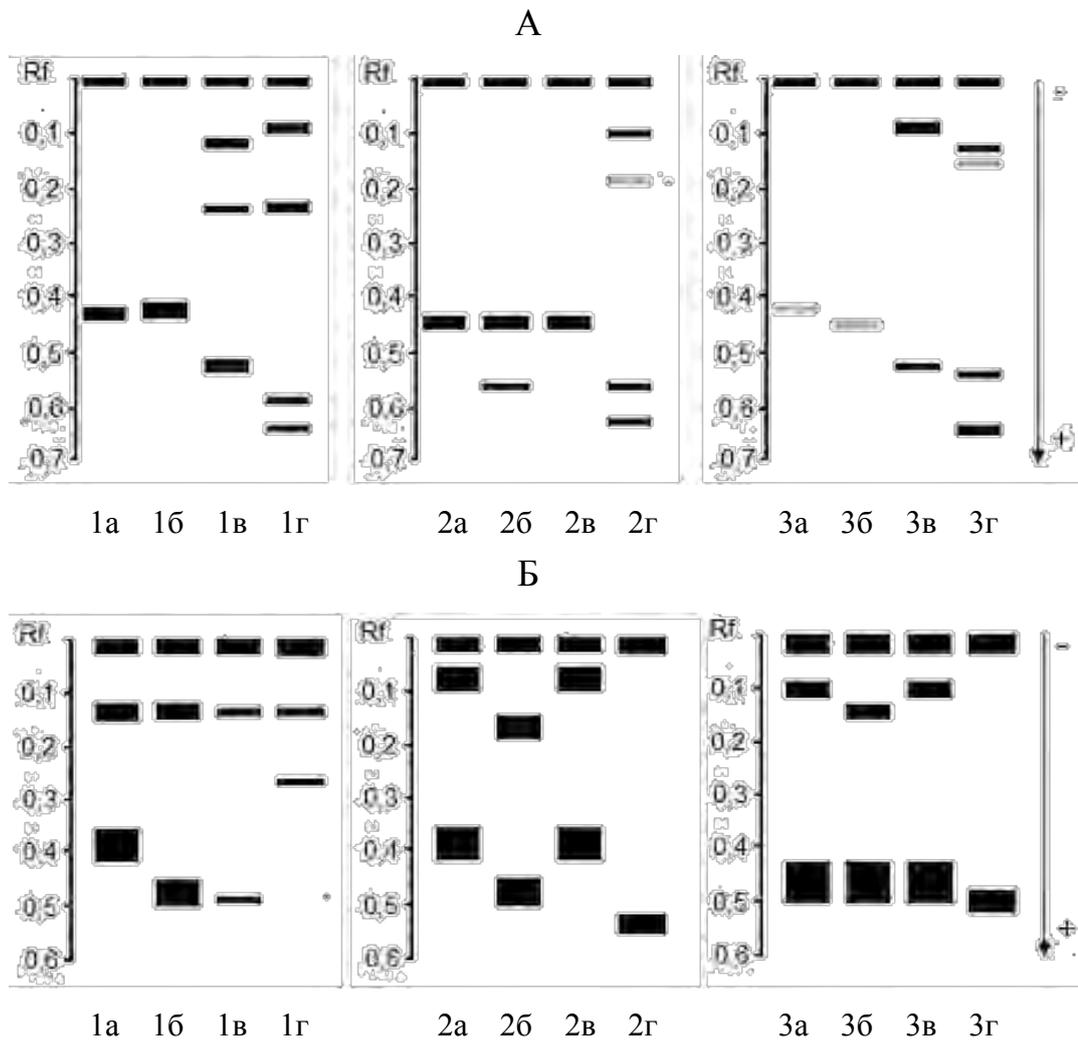


Рисунок 54 – Схемы электрофоретических спектров пероксидазы (А), каталазы (Б) в проростках сортов сои: 1 – Соната, 2 – Гармония, 3 – Даурия; а – здоровые и полученные из семян, пораженных: б – пероноспорозом, в – пурпурным церкоспорозом, г – бактериозом

Таким образом, количественные и качественные изменения ферментов в пораженных семенах и проростках, полученных из них, зависели от сорта сои и вида возбудителя. Однако установлена общая тенденция в изменении активности ферментов в семенах сои: удельная активность пероксидазы под влиянием различной инфекции – снижается, а каталазы – повышается.

## Выводы по пятой главе

1. Оценка болезнеустойчивости *G. max* и *G. soja* к фитопатогенам с различным типом питания (*Fusarium solani* (некротроф), *Septoria glycines* (гемибиотроф), *Perenospora manshurica* (биотроф)) позволила выявить устойчивые генотипы. Сорт Гармония проявил среднюю устойчивость ко всему комплексу заболеваний, сорт Соната наиболее сильно поражался септориозом, сорт Даурия – пероноспорозом, дикорастущая соя была устойчивой к пероноспорозу и среднеустойчивой к септориозу.

2. Выявлена отрицательная статистически значимая зависимость активности пероксидазы в пораженных листьях со степенью поражения септориозом и пероноспорозом; сильная положительная связь активности каталазы со степенью поражения септориозом в фазах третьего тройчатого листа ( $r = 0,962$ ,  $p < 0,01$ ) и цветения ( $r = 0,684$ ,  $p < 0,01$ ), отрицательная – со степенью развития пероноспороза ( $r = -0,862$ ,  $p < 0,01$ ) в фазе бобообразования. Установлено, что устойчивость сои к фитопатогенам (*S. glycines*, *P. manshurica*) не зависит от изначальной активности пероксидазы и каталазы в листьях сои, а связана с изменением активности ферментов в ответ на внедрение патогена.

3. Совокупность полученных экспериментальных данных свидетельствует о том, что энзиматическая активность (пероксидазы и каталазы) может быть использована для диагностики устойчивости сои к фитопатогенам. Форму пероксидазы с Rf 0,56 выявленную в электрофоретическом спектре листьев *G. soja* можно использовать в качестве маркера устойчивости к пероноспорозу.

## ГЛАВА 6 АДАПТАЦИЯ СОИ К АГРОКЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ВЫРАЩИВАНИЯ

Соя является одной из важнейших продовольственных культур в мире. Её возделывают на разных континентах, в различных природно-климатических зонах, которые нередко характеризуются нестабильным климатом и жесткими условиями в период вегетации.

Благодаря экологической пластичности соя шагнула далеко за пределы первоначального распространения и в настоящее время возделывается более чем в девяносто четырех странах. Лидером является США, где посевы сои составляют 35-40%, далее идут Бразилия – 20%, Аргентина – 12%, Китай – 12-13% и Индия – 8%. В Европе – около 2%, здесь основная доля приходится на Украину и Россию. Доля России в структуре мировых посевов сои составляет около 1% (Щегорец О.В., 2018).

В России лидерами производства сои на Дальнем Востоке являются: Амурская область и Приморский край (Соя ..., <http://agroamur.ru/4/4-2.html>). Наиболее крупной зоной соеводства на юге европейской части России является Краснодарский край, обладающий благоприятным биоклиматическим потенциалом (Лукомец В.М., Кочегура А.В., Трунова М.В., 2011). В Центрально-Черноземном регионе России лидирующие позиции занимает Белгородская область, где созданы все предпосылки для увеличения производства сои (Шевченко Н.С., Смуров С.И., Зеленская Т.И., 2010).

Правительством России намечено увеличение посевных площадей сои к 2020 году до 3 млн. 871 тыс. га, в том числе за счет Европейского региона, прежде всего областей Южного, Центрального и Приволжского Федеральных округов (Отраслевая программа ..., 2014). В этом контексте Московская область привлекает особое внимание своими почвенно-климатическими условиями, способствующими получению высоких урожаев сои (Або-Хегази Самир Р.Е., 2005). Благодаря успехам селекции школы

профессора Г.С. Посыпанова были созданы сорта сои северного экотипа, что расширило возможности ее интродукции в хозяйства Центрального Нечерноземья (Посыпанов Г.С., 2007; Кобозева Т.П., 2007). Большие возможности для выращивания этой культуры имеются в Сибири и на Алтае (Васякин Н.И., Гамзиков Г.П., 2003). В последние годы наметилась тенденция к размещению посевов сои на поливных землях засушливых районов Поволжья, происходит оптимизация структуры посевов сои на юге Нечерноземья и других регионах нашей страны (Мушинский А.С., Сазонов Ф.В., Матыцин Г.Н., 2000; Федоров В.Ф., Федорова З.С., 2006; Халипский А.Н., Чураков А.А., 2009; Кобозева Т.П. и др., 2011; Сихарулидзе Т.Д., Храмой В.К., Демьяненко Е.В., 2011; Борцова Е.Б., Демьянова-Рой Г.Б., 2011).

В связи с расширением ареала культурной сои необходимым является изучение адаптации и выявление сортов, способных реализовать потенциал высокой продуктивности в широком спектре агроклиматических условий. Использование разнообразия сортов должно происходить не только за счет выведения собственных, высокопродуктивных сортов, но и за счет привлечения сортов, созданных инорайонной селекцией.

Разнообразное использование сои в пищевых, кормовых и технических целях значительно повышаются требования к качеству семян. При этом следует учитывать такие показатели, как содержание в семенах белка, масла, жирных кислот, незаменимых аминокислот, углеводов, ингибитора трипсина и лектина (Селихова О.А., Иваченко Л.Е., Тихончук П.В., 2005; Петибская В.С., 2012).

В последнее время часто используют прием параллельной оценки изучаемых сортов в нескольких экологических пунктах, существенно различающихся по условиям среды (Ториков В.Е., Мельников О.В., Прудников А.П., 2001; Стрижова Ф.М., 2003; 2005; Zhou M.X. et al., 1999). Поэтому для оценки адаптивного потенциала сои была определена реакция изучаемых сортов на изменение условий выращивания по биохимическим

показателям и реализации их потенциальной продуктивности при выращивании в контрастных условиях.

### **6.1 Урожайность сои при выращивании в различных агроклиматических условиях**

Урожайность – основной критерий оценки при возделывании любой сельскохозяйственной культуры. Он является конечным результатом фотосинтетической деятельности и других физиологических процессов, происходящих в растениях и в агроценозе в целом. Урожайность является сложным признаком, зависящим как от сорта, так и от совокупности всех условий выращивания.

В последние годы перед селекционерами стоят задачи создания не только новых высокопродуктивных сортов, но и хорошо адаптированных к конкретным агроклиматическим условиям и системам земледелия. Известно, что ориентация на высокий биологический потенциал продуктивности в определенной степени способствует снижению устойчивости сортов к неблагоприятным воздействиям окружающей среды (Жученко А.А., 2001). Проблему устойчивости необходимо решать комплексно и, прежде всего, за счет правильно подобранного сортового материала, который может быть использован как непосредственно в адаптивном растениеводстве, так и в качестве исходного материала для создания сортов, сочетающих достаточно высокую и стабильную продуктивность, качество урожая с устойчивостью к действию абиотических и биотических стрессоров.

Поэтому для изучения экологической устойчивости сортов сои мы рассматривали в качестве одного из важнейших показателей реализацию их потенциальной продуктивности в различных агроклиматических и погодных условиях.

Урожайность изучаемых сортов сои за годы исследований была наибольшей в Амурской области и Хабаровском крае, в среднем по сортам

она составила: 21,1-27,6 ц/га и 18,7-21,3 ц/га соответственно (табл. 54). Низкую урожайность имели исследованные сорта сои при выращивании в Саратовской (6,1-10,2 ц/га) и Оренбургской (5,8-8,0 ц/га) областях, где лимитирующим фактором является недостаточная влагообеспеченность в течение вегетационного периода.

Таблица 54 – Урожайность семян сои, ц/га, 2010-2013 гг.

Сорт (фактор А)	Урожайность, ц/га				$\bar{x}$
	Год (фактор Б)				
	2010	2011	2012	2013	
Амурская область					
Лидия	24,7	14,8	15,8	26,3	20,4
Соната	28,7	14,3	20,7	20,6	21,1
Соер 4	26,8	17,9	23,1	21,4	22,3
Гармония	31,9	24,4	27,5	26,5	27,6
$\bar{x}$	28,0	17,8	21,8	23,7	
НСР <sub>05</sub> = 1,61; НСР <sub>А</sub> = 0,80; НСР <sub>В</sub> = 0,80					
Хабаровский край					
Лидия	23,2	14,0	27,0	21,0	21,3
Соната	21,5	17,7	21,4	19,4	20,0
Соер 4	20,5	20,9	23,5	15,9	20,2
Гармония	15,3	13,9	28,6	17,1	18,7
$\bar{x}$	20,1	16,6	25,1	18,3	
НСР <sub>05</sub> = 0,85; НСР <sub>А</sub> = 0,42; НСР <sub>В</sub> = 0,42					
Саратовская область					
Лидия	4,2	10,8	5,8	3,7	6,1
Соната	5,9	8,0	6,4	13,5	8,4
Соер 4	8,1	16,9	3,4	6,1	8,6
Гармония	3,7	13,5	13,2	10,6	10,2
$\bar{x}$	5,5	12,3	7,2	8,5	
НСР <sub>05</sub> = 0,92; НСР <sub>А</sub> = 0,46; НСР <sub>В</sub> = 0,46					
Оренбургская область					
Лидия	3,4	9,4	6,3	4,0	5,8
Соната	4,6	7,6	7,6	12,4	8,0
Соер 4	3,4	9,7	8,6	8,1	7,4
Гармония	3,2	7,8	8,8	11,1	7,7
$\bar{x}$	3,6	8,6	7,8	8,9	
НСР <sub>05</sub> = 0,68; НСР <sub>А</sub> = 0,34; НСР <sub>В</sub> = 0,34					

В Амурской области средняя урожайность сильно изменяется по годам: у сорта Лидия – от 14,8 до 26,3 ц/га, у сорта Соната – от 14,3 до 28,7 ц/га, у

сорта Соер 4 – от 17,9 до 26,8 ц/га, у сорта Гармония – от 24,4 до 31,9 ц/га. В Хабаровском крае, в среднем за годы исследования, самую низкую урожайность имел среднеспелый сорт Гармония. В Саратовской и Оренбургской областях минимальная урожайность семян сои выявлена у сорта Лидия.

В среднем по сортам сои, выращенной в Амурской области, наибольшая урожайность выявлена в 2010 году, несмотря на сложные погодные условия: жаркое лето и рекордное количество осадков в июле (215% от климатической нормы). Лучшие условия для формирования продуктивности сои сложились в Хабаровском крае в 2012 году. Наиболее благоприятные погодные условия для формирования урожайности сои в Саратовской и Оренбургской области сложились в 2011 и 2013 годах.

В условиях интенсификации растениеводства зависимость урожайности от условий окружающей среды не только не ослабевает, но и усиливается. Наиболее высокие урожаи этой культуры могут быть достигнуты на высокоплодородных, богатых органическим веществом, почвах с хорошей водопроницаемостью и аэрацией, имеющих нейтральную или слабокислую реакцию почвенного раствора (Соя, 2005).

Между урожайностью семян сои и влагообеспеченностью растений наблюдается довольно тесная зависимость (табл. 55). Отмечена средняя положительная связь между количеством осадков за период «цветение-созревание» и урожайностью семян сои в Амурской и Саратовской областях ( $r = 0,580$ ,  $p < 0,05$  и  $r = 0,532$ ,  $p < 0,05$  соответственно). Наиболее сильное влияние на урожайность сои в Оренбургской области оказало количество осадков за период вегетации ( $r = 0,614$ ,  $p < 0,01$ ).

В Амурской области и Хабаровском крае выявлена положительная корреляция между среднесуточной температурой воздуха за вегетацию сои и её урожайностью ( $r = 0,573$ ,  $p < 0,05$  и  $r = 0,628$ ,  $p < 0,01$  соответственно). Однако связь между среднесуточной температурой воздуха за период

«цветение-созревание» и урожайностью семян сои в Амурской области была отрицательной средней силы.

Таблица 55 – Коэффициенты корреляции между урожайностью семян сои и гидротермическими факторами

Фактор	Коэффициенты корреляции			
	Амурская область	Хабаровский край	Саратовская область	Оренбургская область
Сумма осадков за вегетацию, мм	0,406	0,057	0,545*	0,614**
Сумма осадков за период «цветение-созревание», мм	0,580*	0,039	0,532*	0,414
Среднесуточная температура воздуха за вегетацию, °С	0,573*	0,628**	-0,489*	-0,348
Среднесуточная температура воздуха за период «цветение-созревание», °С	-0,532*	-0,076	-0,327	-0,703**
Сумма положительных температур свыше 10°С	0,363	0,688**	-0,512*	-0,685**
ГТК за вегетацию	0,397	0,214	0,599*	0,722**

Примечание: \* – статистически значимые изменения при  $p < 0,05$  ( $n = 16$ ,  $r_{\text{крит}} = 0,497$ ); \*\* – статистически значимые изменения при  $p < 0,01$  ( $r_{\text{крит}} = 0,623$ )

Между температурным режимом в Саратовской и Оренбургской областях и урожайностью существует отрицательная связь, т.е. с повышением температуры воздуха урожайность снижается. Наиболее тесная корреляция отмечена между среднесуточной температурой воздуха за период «цветение-созревание» и урожайностью в Оренбургской области ( $r = -0,703$ ,  $p < 0,01$ ). Статистически значимая связь обнаружена между суммой активных температур за вегетацию и урожайностью семян, положительная в Хабаровском крае ( $r = 0,688$ ,  $p < 0,01$ ) и отрицательная в Оренбургской области ( $r = -0,685$ ,  $p < 0,01$ ). Положительная зависимость выявлена между гидротермическим коэффициентом и урожайностью семян сои во всех

регионах, в которых были заложены опыты, сильной эта связь была в Оренбургской области.

Многие сорта сои, выведенные или постоянно возделываемые в Амурской области, в природно-климатических условиях других регионов Российской Федерации не реализуют полностью свой генетический потенциал. В Саратовской и Оренбургской областях фактором, сдерживающим формирование высокого урожая сои, является недостаточная влагообеспеченность и высокая температура воздуха. В Хабаровском крае таким фактором является температура воздуха и сумма активных температур, растения сои часто испытывают недостаток тепла в конце вегетационного периода. Коэффициенты корреляции между показателями гидротермического режима и урожайностью семян сои в Амурской области были слабыми или средней силы, возможно, это связано с тем, что сорта, включенные в исследование, хорошо адаптированы к местным условиям.

Для оценки взаимодействия «генотип-среда», значимости и величины вклада факторов в формирование урожайности сои было проведено два двухфакторных и один трехфакторный дисперсионный анализ (табл. 56, 57, 58). Первый двухфакторный дисперсионный анализ позволил выявить влияние на урожайность таких факторов, как «год», «сорт» и их взаимодействие, второй – факторов «сорт», «регион выращивания» и их взаимодействие. Трехфакторный дисперсионный анализ выявил влияние на урожайность факторов «год», «регион выращивания», «сорт» и их взаимодействие. Результаты проведенных дисперсионных анализов показали наличие взаимодействия «генотип-среда», на 5% уровне значимости доказана существенность влияния всех факторов и их взаимодействия на урожайность сортов сои.

Таблица 56 – Значимость и вклад факторов в формирование урожайности сортов сои, 2010-2013 гг. (первый двухфакторный дисперсионный анализ)

Дисперсия	Степень свободы	Средний квадрат	F <sub>факт</sub>	F <sub>05</sub>	Вклад фактора, %
Амурская область					
Общая	63	-	-	-	-
Год (фактор А)	3	285,62	220,80	2,84	50,5
Сорт (фактор В)	3	169,63	131,14	2,84	30,1
Взаимодействие (А х В)	9	29,70	22,96	2,12	15,7
Остаток	45	1,29	-	-	-
Хабаровский край					
Общая	63	-	-	-	-
Год (фактор А)	3	219,56	611,39	2,84	58,1
Сорт (фактор В)	3	17,92	49,89	2,84	4,7
Взаимодействие (А х В)	9	44,77	124,68	2,12	35,5
Остаток	45	0,36	-	-	-
Саратовская область					
Общая	63	-	-	-	-
Год (фактор А)	3	135,23	318,89	2,84	37,1
Сорт (фактор В)	3	46,26	109,09	2,84	12,7
Взаимодействие (А х В)	9	58,62	138,22	2,12	48,2
Остаток	45	0,42	-	-	-
Оренбургская область					
Общая	63	-	-	-	-
Год (фактор А)	3	95,75	409,69	2,84	57,3
Сорт (фактор В)	3	16,33	69,88	2,84	9,8
Взаимодействие (А х В)	9	16,84	72,05	2,12	30,2
Остаток	45	0,23	-	-	-

По данным первого двухфакторного дисперсионного анализа, в формирование урожайности сои во всех регионах выращивания больший вклад вносит фактор «год» (37,1-58,1%) по сравнению с фактором «сорт» (4,7-30,1%). Однако следует отметить существенный вклад в варьирование урожайности фактора «сорт» в Амурской области, взаимодействия «год х сорт» – в Саратовской области, это свидетельствует о том, что повышение урожайности возможно при использовании высокопродуктивных адаптивных сортов сои.

Таблица 57 – Значимость и вклад факторов в формирование урожайности сортов сои, 2010-2013 гг. (второй двухфакторный дисперсионный анализ)

Дисперсия	Степень свободы	Средний квадрат	F <sub>факт</sub>	F <sub>05</sub>	Вклад фактора, %
2010 г.					
Общая	63	-	-	-	-
Регион (фактор А)	3	2207,09	2846,74	2,84	95,1
Сорт (фактор В)	3	9,46	12,20	2,84	0,4
Взаимодействие (А х В)	9	30,72	39,62	2,12	4,0
Остаток	45	0,78	-	-	-
2011 г.					
Общая	63	-	-	-	-
Регион (фактор А)	3	281,35	677,36	2,84	58,9
Сорт (фактор В)	3	72,83	175,35	2,84	15,2
Взаимодействие (А х В)	9	38,91	93,68	2,12	24,4
Остаток	45	0,42	-	-	-
2012 г.					
Общая	63	-	-	-	-
Регион (фактор А)	3	1385,61	2029,65	2,84	86,0
Сорт (фактор В)	3	118,48	173,55	2,84	7,4
Взаимодействие (А х В)	9	31,98	46,84	2,12	6,0
Остаток	45	0,68	-	-	-
2013 г.					
Общая	63	-	-	-	-
Регион (фактор А)	3	885,70	1511,60	2,84	81,3
Сорт (фактор В)	3	53,25	90,87	2,84	4,9
Взаимодействие (А х В)	9	47,03	80,27	2,12	12,9
Остаток	45	0,59	-	-	-

Результаты второго двухфакторного дисперсионного анализа показали, что доля вклада фактора «регион выращивания» была значительно выше, чем доля вклада фактора «сорт» и составила соответственно 58,9-95,1% и 0,4-15,2%.

Таблица 58 – Значимость и вклад факторов в формирование урожайности сортов сои, 2010-2013 гг. (трехфакторный дисперсионный анализ)

Дисперсия	Степень свободы	Средний квадрат	F <sub>факт</sub>	F <sub>05</sub>	Вклад фактора, %
Общая	255	-	-	-	-
Год (фактор А)	3	32,45	53,20	2,70	0,6
Регион выращивания (фактор В)	3	4056,05	6649,09	2,70	73,3
Сорт (фактор С)	3	77,71	127,38	2,70	1,4
Взаимодействие (А х В)	9	234,57	384,52	1,97	12,7
(А х С)	9	58,77	96,34	1,97	3,2
(В х С)	9	57,48	94,22	1,97	3,1
(А х В х С)	27	30,39	49,81	1,63	4,9
Остаток	189	0,61	-	-	-

По данным трехфакторного дисперсионного анализа, наибольший вклад в формирование урожайности сортов сои вносит фактор «регион выращивания». Вклад факторов «год» и «сорт» составляет соответственно 0,6 и 1,4%. Существенная роль в формировании урожайности принадлежит взаимодействию «год х регион выращивания», доля которого составляет 12,7%.

В каждом регионе необходимо подбирать такие сорта, которые соответствовали бы его климатическим условиям. Только при таком подборе можно получить наибольший урожай высокого качества при наименьшей себестоимости полученной продукции (Федоров А.К., Лыфенко С.Ф., Пономарев В.И., 1982). Не все сорта равноценны. Одни положительно отзываются на агроприемы, повышающие их продуктивность и улучшающие качество зерна в любых условиях произрастания, другие окупают затраты лишь в благоприятные годы (Суднов П.Е., 1986).

Известно, что в основе районирования, размещения видов и сортов в наиболее благоприятных для реализации их потенциальной продуктивности почвенно-климатических условиях, заложен механизм экзогенной регуляции адаптивных реакций растений, обусловленной эволюционной «памятью» и

адаптивной нормой реакции генотипа (Жученко А.А., 2001). Вместе с тем, оценка сортов по экологической стабильности вызывает определенные затруднения, связанные с математическим выражением пластичности и стабильности урожаев под воздействием условий среды. К настоящему времени разработано достаточно много методических подходов к оценке экологической пластичности и стабильности генотипов, большинство из которых основано на регрессионном анализе. В наших исследованиях для изучения особенностей агроэкологической адаптивности сортов сои был применен метод S.A. Eberhart и W.A. Russell (1966), который позволяет выявить три параметра продуктивности и средовой устойчивости: среднее значение генотипа, показатели линейной (коэффициент регрессии) и нелинейной (относительная стабильность) реакции среды (Стрижова Ф.М., 2005; Сапега В.А., 2008). Многие отечественные и зарубежные исследователи использовали данный метод для оценки адаптивных свойств различных сельскохозяйственных культур (Пакудин В.З., Лопаткина Л.М., 1984; Гончаренко А.А., Макаров А.В., 2001; Клюка В.И., Малюга Н.Г., Орф Д.Н., 2002; Ефимова Г.П., Ющенко Б.И., Царгасова Н.Б., 2005; Стрижова Ф.М., 2005; Сапега В.А., 2008; Рафальский Н.Б., 2009; Селихова О.А., Тихончук П.В., 2014; Jindal S.K., 1985; Shamsuddin A.K.M., 1985).

Рассматривая агроэкологическую адаптивность сои, необходимо было определить, какова будет реакция исследуемых сортов на изменение условий выращивания, и как при этом будет реализовываться их потенциальная продуктивность. В таблице 59 представлены коэффициенты регрессии ( $b_i$ ) и варианты стабильности ( $S^2d_i$ ) изучаемых сортов сои при выращивании их в различных агроклиматических условиях. Особую ценность представляют сорта со средней и высокой урожайностью, с коэффициентом регрессии близким к 1. Коэффициент показывает отзывчивость сортов на изменение условий: чем выше числовые значения  $b_i$ , тем сильнее изменяется урожайность при смене условий произрастания.

Таблица 59 – Параметры адаптивных свойств сортов сои по урожайности, 2010-2013 гг.

Сорт	Урожайность, ц/га lim	$b_i$	$S^2d_i$	$Y_{\min}-Y_{\max}$	V, %	$H_{om}$
Лидия	3,4-27,0	1,16	122,70	-23,6	65,0	3,38
Соната	4,6-28,7	0,88	102,31	-24,1	50,4	4,59
Соер 4	3,4-26,8	0,96	84,28	-23,4	49,4	4,56
Гармония	3,2-31,9	1,09	168,0	-28,7	56,4	3,84

Высокой пластичностью, то есть широкой экологической адаптивностью, характеризовались сорта Лидия и Гармония, у которых коэффициент регрессии  $b_i > 1$ , они обладают большей отзывчивостью на изменение условий выращивания. Высокопластичные сорта будут иметь преимущество на интенсивном фоне, где в максимальной степени реализуется их потенциал продуктивности (прил. Р, табл. Р.1).

Второй показатель экологической пластичности – стабильность ( $S^2d_i$ ), т.е. отклонение опытных данных по урожайности конкретного года от средней величины урожайности сортов за все годы исследования. При оценке изучаемых сортов по степени стабильности урожаев в разных агроклиматических условиях выращивания выявлена их низкая стабильность, то есть величина их урожаев зависит от климатических условий региона.

Показатель стрессоустойчивости ( $Y_{\min}-Y_{\max}$ ) имеет отрицательный знак и отражает уровень устойчивости сортов к стрессовым условиям произрастания. Чем меньше разрыв между максимальной и минимальной урожайностями, тем выше стрессоустойчивость сорта и тем шире диапазон его приспособительных возможностей (Гончаренко А.А., 2005). В нашем опыте наиболее высокую стрессоустойчивость проявили сорта Лидия (-23,6) и Соер 4 (-23,4) (табл. 59).

Уровень варьирования (V, %) урожайности изучаемых сортов сои при выращивании в разных агроклиматических условиях высокий: для сорта

Лидия – 65,0%, для сорта Соната – 50,4%, для сорта Соер 4 – 49,4%, для сорта Гармония – 56,4% (табл. 59).

Гомеостатичность ( $H_{om}$ ) характеризует способность растений отзываться на улучшение условий выращивания и слабо или совсем не реагировать на ухудшение (Бебякин В.М. и др., 2007). Обычно высокая гомеостатичность обеспечивает более высокую стабильность урожайности. Низкой гомеостатичностью характеризуются все сорта, включенные в исследование, что свидетельствует о нестабильном поведении сортов при изменении условий выращивания (табл. 59).

По результатам анализа адаптивности, изучаемые сорта были распределены по группам следующим образом: сорта Лидия и Гармония – хорошо отзываются на улучшение условий, но имеют низкую стабильность; сорта Соер 4 и Соната – слабее реагируют на изменение условий выращивания, но также нестабильны. Все сорта сои характеризуются очень высокой вариабельностью урожайности семян и низкой гомеостатичностью при выращивании в контрастных агроклиматических условиях.

## **6.2 Изменение химического состава семян сои при выращивании в различных агроклиматических условиях**

Соя (*Glycine max* (L.) Merrill) отличается уникальным биохимическим составом, создающим широкие возможности многоцелевого промышленного использования. Она является не только источником высококачественного растительного белка, но и ведущей масличной культурой мира. Сбалансированность семян сои по основным питательным элементам ставит её в первый ряд по ценности среди всех других сельскохозяйственных культур (Баранов В.Ф., 2002; Нечаев А.П. и др., 2007; Иваченко Л.Е., 2016; Caldwell В.Е., 1973; Lischenko V.F., 1979; Duke J.A., 1981).

В.Б. Енкен (1959) отмечал, что содержание белка в семенах сои может колебаться от 24 до 60%. Известно, что содержание белка и его

аминокислотный состав изменяются в зависимости от вида или сорта. Это обусловлено, в основном, генетическими различиями (Лещенко А.К., Сичкарь В.И., Лысенко В.А., 1976; Альберт В.Э. и др., 1976). Однако содержание и состав белка варьируются также в зависимости от агрономических и физиологических условий роста растений (Смирнова-Иконникова М.И. и др., 1971; Посыпанов Г.С., Буханова А.А., 1977; Бородулина А.А., Супрунова Л., Каленов П.А., 1984; Сичкарь В.И., Левицкий Л.П., 1985). В.А. Коробко (1986) выявил отсутствие взаимосвязи между содержанием белка в образцах сои и продолжительностью их периода вегетации. В то же время данные, полученные Н.В. Мудрик с соавторами (2003), позволяют констатировать, что позднеспелые сорта сои, по сравнению с раннеспелыми и среднеспелыми, накапливают в семенах больше водо-, соле- и щелочерастворимых белков. Исследования О.А. Селиховой (2003) показали, что метеорологические условия года больше влияют на накопление белка, чем сортовые особенности.

По данным ряда авторов (Вавилов П.П., Посыпанов Г.С., 1983; Ефимова Г.П., Ющенко Б.И., Вершинина Р.А., 2000; Петибская В.С. и др., 2000; Петибская В.С. и др., 2001; Ющенко Б.И., Тильба В.А., 2002; Петибская В.С., 2012), процент белка в семенах сои изменяется в зависимости от почвенно-климатических условий и уровня обеспеченности элементами питания. А.А. Бородулина с соавторами (1984) отмечают, что содержание белка в семенах сои варьируется в широких пределах от 28,5 до 56%, в зависимости от экологических условий. Установлено, что содержание белка в семенах одного и того же сорта в разных районах может отличаться на 10% и более (Плешков Б.И., 1980; Назаренко С.В., 2001; Щербаков В.Г., Лобанов В.Г., 2003). При выращивании сои на Дальнем Востоке содержание белка в семенах сои колебалось от 37,7 до 48%. Эти же сорта, выращенные на Майкопской опытной станции, имели более низкий показатель – до 28,5-42,2% (Шерепитко В.В. и др., 1990). Увеличение белка отмечено в семенах сои, выращенных в южной агроклиматической зоне Амурской области, по

сравнению с семенами из центральной или северной агрозоны (Селихова О.А., 2003; Тихончук П.В., 2004б).

Накопление белка в семенах сои зависит от погодных условий, в опытах N. Milalic (1969) низкие температуры в сочетании с большим количеством осадков в период формирования и налива семян способствовали большему накоплению белка. Такого же мнения придерживается и ряд других исследователей (Коробко В.А., 1986). Однако есть данные, что увеличению содержания белка в семенах сои способствуют повышение температуры воздуха и недостаток влаги в почве в период цветения и созревания (Смирнова-Иконникова М.И. и др., 1971; Альберт В.Э. и др., 1976; Чмелева З.В., Корсаков Н.И., 1981). В.Т. Синеговской (2005) было установлено, что высокие температуры воздуха и оптимальная влажность почвы в период формирования и налива семян сои повышают их белковость.

По многолетним данным В.А. Коробко (1986), накопление белка в семенах различных по скороспелости сортов сои отрицательно коррелировало (от -0,34 до -0,79) с количеством выпавших осадков в июне-сентябре и положительно с суммой активных температур (от 0,24 до 0,71). А.П. Ващенко с соавторами (1989) определили влияние осадков и температуры на накопление белка и масла в семенах сои в условиях Приморья, были получены следующие коэффициенты корреляции: белок-осадки –  $r = -0,38$ , масло-осадки –  $r = -0,23$ , белок-температура –  $r = 0,39$ , масло-температура –  $r = 0,35$ .

Изменчивость по содержанию незаменимых аминокислот в семенах тесно связана с содержанием белка (Тымчук Н.Ф., Бондаренко В.И., Матушкин В.А., 1990). И.А. Кучеровой (1971) был отмечен различный уровень связи между аминокислотами в семенах сои. В большинстве случаев коэффициенты корреляции имели положительное значение или были недостоверными (Соя, 1984).

По данным В.И. Сичкаря (1985), достоверная положительная связь в белке сои отмечена между лизином и гистидином; треонином и серином;

пролином и фенилаланином; изолейцином и лейцином; тирозином и фенилаланином. Отрицательные корреляции между пролином и гистидином; серином и аргинином; валином и аргинином; пролином и аспаргиновой кислоты.

Парные коэффициенты корреляции между незаменимыми аминокислотами соевого белка представлены в работе О.А. Селиховой (2003), были выявлены положительные достоверные корреляции между валином и метионин+цистеином, треонином и лизином, треонином и лейцином, лейцином и метионин+цистеином, валином и фенилаланином, треонином и фенилаланином, лейцином и валином, изолейцином и фенилаланином. Отрицательная достоверная корреляция установлена между содержанием лейцина и изолейцина.

Наряду с изменчивостью общего количества белка в семенах в зависимости от условий выращивания изменяется и их качественный состав. На содержание аминокислот в белке семян сои оказывают влияние температура, длина светового дня, увлажнение, питание растений (Лещенко А.К., Сичкарь В.И., Лысенко В.А., 1976; Сичкарь В.И., Левицкий А.П., 1985; Иваченко Л.Е. и др., 2000). Б.И. Ющенко с соавторами (2000) отметили, что содержание лизина в белке сои зависит от зоны выращивания Амурской области, причем в южной и северной зонах накопление лизина одинаково, а в центральной и северной таежной оно несколько выше и составляет 7,48 и 7,50% соответственно. В работе Б.И. Ющенко, В.А. Тильба (2002) показано, что аминокислотный состав белка меньше реагирует на изменение условий произрастания, чем их общее содержание.

Соя высоко ценится и как масличная культура (Тымчук Д.С. и др., 2005; Duke J.A., 1981). Мнения исследователей по вопросу о том, какой из факторов (сортовые особенности или условия выращивания) оказывает наибольшее влияние на масличность соевых семян, разноречивы (Каяндер Л.Н., 1976; Альберт В.Э. и др., 1976; Ефимова Г.П., Ющенко Б.И., Вершинина Р.А., 2000; Петибская В.С. и др., 2000; Селихова О.А., Иваченко

Л.Е., Тихончук П.В., 2005; Гинс М.С. и др., 2005; Петибская В.С., 2012; Иваченко Л.Е., 2012; Sindh B.V., Hadley N.N., 1994). По данным Г.С. Посыпанова (1983), содержание масла в семенах сои изменяется в широком диапазоне от 15 до 27% в зависимости от условий выращивания и экотипа сорта. Многими исследователями отмечается наличие отрицательной корреляции между содержанием белка и масла в семенах сои ( $r = -0,79-0,69$ ) (Соя, 1987; Ващенко А.П., Мудрик Н.В., Хохлова Н.И., 1989). Ранее З.Ф. Гудсковой (1963) было выявлено, что при повышении содержания белка в семенах сои на 2-3%, содержание масла снижается на 1%. Значительно меньшая взаимосвязь между данными показателями была отмечена П.П. Бордаковым ( $r = -0,31-0,48$ ) (цит. по А.К. Лещенко, 1978). В.А. Коробко и И.В. Тарыца (1986) установили, что в условиях Молдавии зависимость содержания масла и белка в семенах сои по годам изменяется (от  $r = -0,12$  до  $r = -0,82$ ). В условиях Приморья установлена слабая отрицательная корреляционная зависимость между содержанием масла и белка в семенах сои ( $r = -0,17; -0,40$ ) (Ващенко А.П., Мудрик Н.В., Хохлова Н.И., 1989). В работе О.А. Селиховой (2003) отмечено, что коэффициент корреляции белковости с масличностью изменяется от  $-0,25$  до  $-0,93$ , в среднем составляет  $-0,63$ . Однако М.П. Мордвинцевым (2008), не выявлено значимой корреляции между содержанием белка и масла в семенах сои.

Масличность соевых семян зависит как от биологических особенностей сорта, так и от условий выращивания (Петибская В.С., 2001). Согласно литературным данным, в условиях достаточного увлажнения и оптимальных температур в семенах растений накапливается больше масла. Высокие и низкие температуры в период созревания приводят к снижению количества масла (Скалицкая Л.И., Лысенко В.А., Сичкарь В.И., 1985). М.П. Мордвинцевым (2008) установлено, что содержание масла в семенах значимо и положительно коррелировало с суммарным количеством осадков и поливной воды в июне, а содержание белка – положительно с суммой активных температур за вегетацию (соответственно  $r = 0,46$  и  $0,44$ ).

При изучении содержания масла в семенах сои разных зон Приамурья, Г.П. Ефимова, Б.И. Ющенко (1999) отметили, что в южной зоне его накопилось больше, чем в центральной – на 0,24%, в северной – на 0,75% и в северной таежной – на 1,3%. А.Я. Ала с соавторами (1999) считают, что содержание масла в семенах сои меньше зависит от условий выращивания, чем от генотипа сои.

В.Э. Альберт (1975) показал существенную изменчивость содержания масла в семенах сортов с различной продолжительностью периода вегетации, что в значительной мере обусловлено зависимостью маслообразовательного процесса от погодных условий в период созревания семян.

По жирнокислотному составу соевое масло является самым ценным из всех растительных масел. В соевом масле 95% высших жирных кислот, среди которых ненасыщенных 80-94%, насыщенных – 6-20% (Кузин В.Ф., 1976). Незаменимыми для организма являются: линолевая кислота (44-59%) и линоленовая (2,3%), которая легко окисляется и поэтому при хранении соевое масло быстро прогоркает и приобретает неприятный запах (Соя, 1970; Кузин В.Ф., 1976; Бородин Е.А., 1998; Тымчук Д.С. и др., 2005). Олеиновая кислота придает соевому маслу высокое качество. При отборе на высокое содержание олеиновой кислоты количество линоленовой будет снижаться, так как содержание этих кислот находится в отрицательной зависимости (Ала А.Я., Романова Л.П., 1985; Hawkins S.E., Fehr W.R., Hammond E.D., 1983).

А.Я. Ала и Л.П. Романова (1985) показали, что генетические системы, определяющие содержание жирных кислот у культурной и дикорастущей сои, сильно отличаются по линоленовой, линолевой, олеиновой и стеариновой кислотам. По содержанию пальмитиновой кислоты дикие формы от культурных сортообразцов не отличались (Ала А.Я., 1977; 1985).

Под влиянием условий выращивания существенно варьирует концентрация пальмитиновой, линоленовой и олеиновой кислот. Установлено, что погодные условия оказывают влияние на жирнокислотный

состав соевого масла (Хаштыров И.Б., 2009). О.А. Селиховой с соавторами (2005) установлено, что высокая температура воздуха в вегетационный период способствует увеличению содержания линоленовой кислоты, дефицит влаги приводит к увеличению олеиновой кислоты и снижению линоленовой.

Поскольку химический состав семян сои определяется не только генетическими особенностями сортов, но и условиями выращивания, представляет интерес изучение изменчивости содержания и качества белка и масла различных сортов сои при выращивании в разных агроклиматических условиях. Познание закономерностей, обуславливающих биохимические процессы, позволит более целенаправленно вести селекционную работу по созданию сортов сои с улучшенным химическим составом семян, устойчиво сохраняющих биохимические особенности при выращивании в различных почвенно-климатических условиях.

Содержание белка в семенах сои зависит не только от сорта, но погодно-климатических условий региона выращивания (табл. 60). Самое высокое содержание белка выявлено в семенах сои, выращенной в Амурской (39,3-41,3%, среднее по годам) и Оренбургской областях (35,8-42,1%, среднее по годам). Содержание белка в Саратовской области в среднем по годам составляет 37,2-40,2%, самое низкое (31,4-40,0%) – выявлено в семенах из Хабаровского края.

В среднем за 2010-2013 гг. повышенным содержанием белка отличались семена скороспелых сортов Соната (41,0 и 40,6%) и Соер 4 (41,6 и 40,4%) из Амурской и Оренбургской областей соответственно. Минимальное количество белка отмечено в семенах среднеспелого сорта Гармония (34,4%) из Хабаровского края.

Высокой белковостью обладали семена урожая 2011 и 2013 гг. из Оренбургской области, несмотря на то что погодные условия сильно различались по температурному режиму и количеству осадков. В Саратовской области самое высокое содержание белка в семенах сои

выявлено в 2012 году, который характеризовался неравномерным выпадением осадков, при этом максимальное количество осадков приходилось на июль, период цветения и бобообразования сои.

Таблица 60 – Содержание белка в семенах сои, % на АСВ, 2010-2013 гг.

Сорт (фактор А)	Содержание белка в семенах сои, % на АСВ				$\bar{x}$
	Год (фактор Б)				
	2010	2011	2012	2013	
Амурская область					
Лидия	38,7	39,6	38,2	41,7	39,5
Соната	39,9	42,2	41,7	40,2	41,0
Соер 4	41,1	43,9	40,6	40,7	41,6
Гармония	37,7	39,4	38,7	39,7	38,9
$\bar{x}$	39,3	41,3	39,8	40,6	
НСР <sub>05</sub> = 1,21; НСР <sub>А</sub> = 0,61; НСР <sub>В</sub> = 0,61					
Хабаровский край					
Лидия	38,7	33,1	37,6	30,9	35,1
Соната	37,8	39,2	41,9	34,6	38,4
Соер 4	36,9	35,9	41,6	31,7	36,5
Гармония	36,3	33,8	39,0	28,6	34,4
$\bar{x}$	37,4	35,5	40,0	31,4	
НСР <sub>05</sub> = 1,04; НСР <sub>А</sub> = 0,52; НСР <sub>В</sub> = 0,52					
Саратовская область					
Лидия	36,6	39,9	40,3	39,3	39,0
Соната	38,9	40,4	42,3	39,7	40,3
Соер 4	38,4	39,7	40,3	37,9	39,1
Гармония	37,8	37,8	37,9	31,8	36,3
$\bar{x}$	37,9	39,4	40,2	37,2	
НСР <sub>05</sub> = 0,97; НСР <sub>А</sub> = 0,49; НСР <sub>В</sub> = 0,49					
Оренбургская область					
Лидия	35,0	41,5	39,3	42,8	39,6
Соната	37,5	42,2	40,8	41,8	40,6
Соер 4	36,3	42,7	40,5	42,1	40,4
Гармония	34,6	41,1	39,2	41,9	39,2
$\bar{x}$	35,8	41,9	39,9	42,1	
НСР <sub>05</sub> = 0,48; НСР <sub>А</sub> = 0,24; НСР <sub>В</sub> = 0,24					

В Хабаровском крае так же, как и в других регионах, варьирование данного признака было незначительным, коэффициенты вариации по годам изменялись от 2,8 до 7,9. В семенах сои из Хабаровского края низкое содержание белка отмечено в 2011 и 2013 годах. Лучшим годом для

накопления белка оказался 2012 год, который отличался максимальным количеством осадков в период цветения сои, а созревание семян происходило в условиях избыточного увлажнения, как, впрочем, и другие годы исследования, но сумма активных температур была самой высокой за годы исследования.

Чтобы выяснить, какой из гидротермических факторов оказывает наибольшее влияние на содержание белка в семенах сои, был применен корреляционный анализ. Сравнивали параллельные данные содержания белка, количество осадков за вегетацию и период «цветение-созревание», среднесуточные температуры за указанные периоды, сумму активных температур, гидротермический коэффициент, при выращивании сои в разных географических пунктах. На основе корреляционного анализа выявлена сильная отрицательная связь между содержанием белка и количеством осадков в Амурской области в период «цветение-созревание» ( $r = -0,749$ ,  $p < 0,01$ ), в семенах из Хабаровского края данная связь была положительной средней силы ( $r = 0,440$ ), но статистически незначимая (табл. 61).

В семенах из Оренбургской области между данными показателями была выявлена статистически значимая положительная связь  $r = 0,588$ ,  $p < 0,05$  (цветение-созревание) и  $r = 0,786$ ,  $p < 0,01$  (всходы-созревание), так как недостаточное количество осадков в данном регионе является лимитирующим фактором для накопления белка.

Выявлена положительная связь между содержанием белка и среднесуточной температурой воздуха за период «цветение-созревание» в Амурской области и Хабаровском крае и отрицательная – в Саратовской и Оренбургской областях. И наоборот, с суммой осадков за данный период содержание белка отрицательно коррелировало в Амурской области и положительно – в Оренбургской области.

Таблица 61 – Коэффициенты корреляции между содержанием белка в семенах сои и гидротермическими факторами

Фактор	Коэффициенты корреляции			
	Амурская область	Хабаровский край	Саратовская область	Оренбургская область
Сумма осадков за вегетацию, мм	-0,484	0,171	-0,127	0,786**
Сумма осадков за период «цветение-созревание», мм	-0,749**	0,440	-0,169	0,588*
Среднесуточная температура воздуха за вегетацию, °С	-0,416	0,252	-0,163	-0,590*
Среднесуточная температура воздуха за период «цветение-созревание», °С	0,684**	0,409	-0,140	-0,784**
Сумма положительных температур свыше 10°С	0,278	0,255	-0,453	-0,906**
ГТК за вегетацию	-0,485	0,405	0,068	0,937**

Примечание: \* – статистически значимые изменения при  $p < 0,05$  ( $n = 16$ ,  $r_{\text{крит}} = 0,497$ ); \*\* – статистически значимые изменения при  $p < 0,01$  ( $r_{\text{крит}} = 0,623$ )

В семенах из Оренбургской области обнаружена сильная положительная связь с гидротермическим коэффициентом ( $r = 0,937$ ,  $p < 0,01$ ). В семенах с растений, выращенных в Саратовской области, корреляции со всеми сравниваемыми показателями были слабыми и несущественными.

Двухфакторные и трехфакторный дисперсионный анализ позволили определить существенность влияния внешних факторов и их взаимодействия на накопление белка семенами сои (прил. П, табл. П.1, П.2, П.3). Результаты первого двухфакторного дисперсионного анализа показали, что доля вклада изучаемых факторов и их взаимодействия в накопление белка семенами сои сильно варьируют в зависимости от региона выращивания. В Хабаровском крае и Оренбургской области наибольший вклад в накопление белка семенами сои вносит фактор «год», а в Амурской и Саратовской областях – фактор «сорт».

Второй двухфакторный дисперсионный анализ показал, что накопление белка семенами сои зависит от региона выращивания, за исключением 2012 года, когда  $F_{\text{факт.}} < F_{05}$ .

По данным трехфакторного дисперсионного анализа, наибольший вклад в накопление белка семенами сои вносит фактор «регион выращивания» (27,4%). В равной степени в накопление белка семенами сои вносят вклад факторы «год» и «сорт» (соответственно 10,7 и 11,8%). Основная роль в накоплении белка принадлежит взаимодействию «год x регион выращивания», доля которого составляет 34,7%.

Для объективной оценки генотипов сои необходимо оценить их экологическую пластичность и стабильность не только по продуктивности, но и качеству семян. Результаты данной оценки представлены в таблице 62.

Высокую экологическую пластичность по содержанию белка ( $b_i = 1,19$ ), которая сочеталась с низкой стабильностью ( $S^2d_i = 1,37$ ) проявил сорт Гармония, сорта Лидия и Соер 4 имели экологическую пластичность близкую к единице, но также были нестабильными по данному признаку. Сорт Соната ( $b_i = 0,70$ ) отличался низкой чувствительностью к изменению условий выращивания и высокой стабильностью ( $S^2d_i = 0,75$ ), в сочетании с повышенным содержанием белка он представляет особый интерес, как способный в разных агроклиматических условиях стабильно формировать семена высокого качества (прил. Р, табл. Р.2).

Таблица 62 – Параметры адаптивных свойств сортов сои по содержанию белка в семенах сои, 2010-2013 гг.

Сорт	Белок, % lim	$b_i$	$S^2d_i$	V, %	$H_{om}$
Лидия	30,9-42,8	1,02	2,19	8,2	42,5
Соната	34,6-42,3	0,70	0,75	5,3	104,4
Соер 4	31,7-43,9	1,07	1,59	7,8	41,0
Гармония	28,6-41,9	1,19	1,37	9,3	29,7

Уровень варьирования количества белка в семенах сои за четыре года при выращивании в разных регионах был низким у всех исследованных сортов. Чем меньше коэффициент вариации, тем устойчивее сорт к воздействию факторов окружающей среды. Наименьший коэффициент вариации ( $V = 5,3\%$ ) у сорта Соната, который был наиболее гомеостатичным ( $H_{om} = 104,4$ ) по содержанию белка.

По содержанию незаменимых аминокислот белок сои превосходит стандарт ФАО/ВОЗ, за исключением метионина, которого в сое на 14% меньше установленной нормы (Токбаев М.М., Бжеумыхов В.С., Делаев У.А., 2006). Незаменимых аминокислот в белке сои в среднем содержалось (% от суммы): лейцина – 8,25; лизина – 6,86; валина – 7,05; изолейцина – 5,74; треонина – 3,64; фенилаланина – 4,59; метионина + цистина – 1,59 (рис. 55). Преобладали в семенах – глутаминовая и аспаргиновая кислоты, аргинин, гистидин, лейцин.

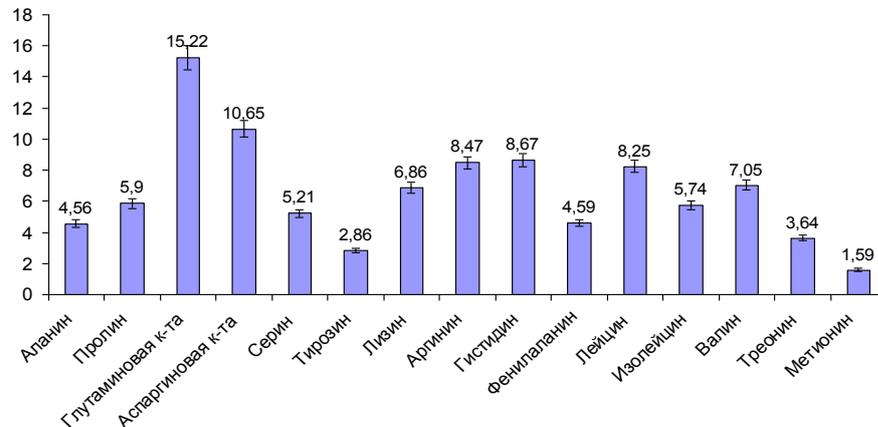


Рисунок 55 – Аминокислотный состав семян сои, % от суммы, среднее по сортам за 2010-2013 гг.

Для оценки соотношения аминокислот в белке семян, полученных с растений сои, выращенных в различных почвенно-климатических условиях, были рассчитаны коэффициенты корреляции (табл. 63).

Выявлены статистически значимые положительные связи между аланином и глутаминовой кислотой ( $r = 0,853$ ,  $p < 0,01$ ), пролином и

аспаргиновой кислотой ( $r = 0,798$ ,  $p < 0,01$ ); пролином и тирозином ( $r = 0,719$ ,  $p < 0,01$ ), тирозином и аспаргиновой кислотой ( $r = 0,931$ ,  $p < 0,01$ ), лизином и треонином ( $r = 0,945$ ,  $p < 0,01$ ), треонином и метионином ( $r = 0,785$ ,  $p < 0,01$ ), лейцином и пролином ( $r = 0,735$ ,  $p < 0,01$ ), лейцином и аспаргиновой кислотой ( $r = 0,932$ ,  $p < 0,01$ ), лейцином и тирозином ( $r = 0,931$ ,  $p < 0,01$ ).

Статистически значимые отрицательные корреляции между аспаргиновой кислотой и аланином ( $r = -0,742$ ,  $p < 0,01$ ), аспаргиновой кислотой и глутаминовой кислотой ( $r = -0,807$ ,  $p < 0,01$ ), тирозином и аланином ( $r = -0,838$ ,  $p < 0,01$ ); серином и метионином ( $r = -0,714$ ,  $p < 0,01$ ), метионином и аргенином ( $r = -0,812$ ,  $p < 0,01$ ), лейцином и аланином ( $r = -0,849$ ,  $p < 0,01$ ), лейцином и глутаминовой кислотой ( $r = -0,912$ ,  $p < 0,01$ ).

Изменчивость аминокислотного состава так же, как и содержание белка, определяется генотипом сорта. Семена сортов Лидия и Соната, независимо от региона выращивания, отличались более высоким содержанием незаменимых аминокислот, таких как валин, изолейцин, метионин (прил. С, табл. С.1).

Корреляционный анализ показал, что в основном содержание аминокислот в белке слабо и недостоверно зависело от количества белка. Но следует отметить снижение ряда незаменимых аминокислот, таких как лизин ( $r = -0,601$ ,  $p < 0,05$ ), треонин ( $r = -0,562$ ,  $p < 0,05$ ) по мере возрастания белковости семян, отмеченные обстоятельства следует учитывать при селекции сои на белковость.

Таблица 63 – Коэффициенты корреляции между аминокислотами в белке семян сои

Аминокислоты	Белок	ALA	PRO	GLUT	ASP	SER	TIR	LIS	ARG	GIST	PHE	LEY	ILEY	VAL	TRE
Аланин (ALA)	0,413														
Пролин (PRO)	-0,156	-0,591*													
Глутаминовая (GLUT)	0,270	0,853**	-0,496*												
Аспаргиновая (ASP)	-0,372	-0,742**	0,798**	-0,807**											
Серин (SER)	0,170	-0,485*	0,320	-0,258	0,195										
Тирозин (TIR)	-0,322	-0,838**	0,719**	-0,871**	0,931**	0,345									
Лизин (LIS)	-0,601*	-0,224	0,113	-0,293	0,354	-0,630*	0,280								
Аргинин (ARG)	0,345	-0,259	-0,053	-0,435	0,057	0,475	0,200	-0,431							
Гистидин (GIST)	-0,399	-0,105	0,103	-0,072	0,297	-0,211	0,365	0,382	-0,363						
Фенилаланин (PHE)	0,156	0,158	-0,388	0,040	-0,405	0,010	-0,411	-0,124	0,339	-0,779**					
Лейцин (LEY)	-0,412	-0,849**	0,735**	-0,912**	0,932**	0,214	0,931**	0,331	0,217	0,251	-0,311				
Изолейцин (ILEY)	-0,199	0,279	-0,472	0,070	-0,286	-0,726**	-0,334	0,638*	-0,041	-0,041	0,391	-0,202			
Валин (VAL)	-0,446	-0,469	0,195	-0,459	0,391	-0,164	0,409	0,687**	-0,119	0,178	-0,002	0,441	0,345		
Треонин (TRE)	-0,562*	-0,201	0,122	-0,257	0,360	-0,617*	0,280	0,945**	-0,515*	0,465	-0,255	0,336	0,583*	0,627*	
Метионин+ цистеин (MET+CYST)	-0,331	0,363	-0,151	0,366	-0,117	-0,714*	-0,247	0,638*	-0,812**	0,437	0,279	-0,222	0,486*	0,144	0,758**

Примечание: \* – статистически значимые изменения при  $p < 0,05$  ( $n = 16$ ,  $r_{\text{крит}} = 0,497$ ); \*\* – статистически значимые изменения при  $p < 0,01$  ( $r_{\text{крит}} = 0,623$ )

Агроклиматические и погодные условия оказывают влияние на аминокислотный состав семян сои, но есть стабильные аминокислоты, содержание которых слабо зависело от региона выращивания. Стабильным в белке сои был фенилаланин, размах варьирования которого не превышал 0,7%, пролин – 0,6%, серин – 0,5%. А также в белке содержатся аминокислоты, размах варьирования которых составляет от 1,7 до 14,6% (гистидин) – от 5,2 до 11,6% (валин) и – от 1,5 до 6,4% (тирозин). На рисунке 56 представлено среднее по сортам содержание преобладающих аминокислот в семенах сои.

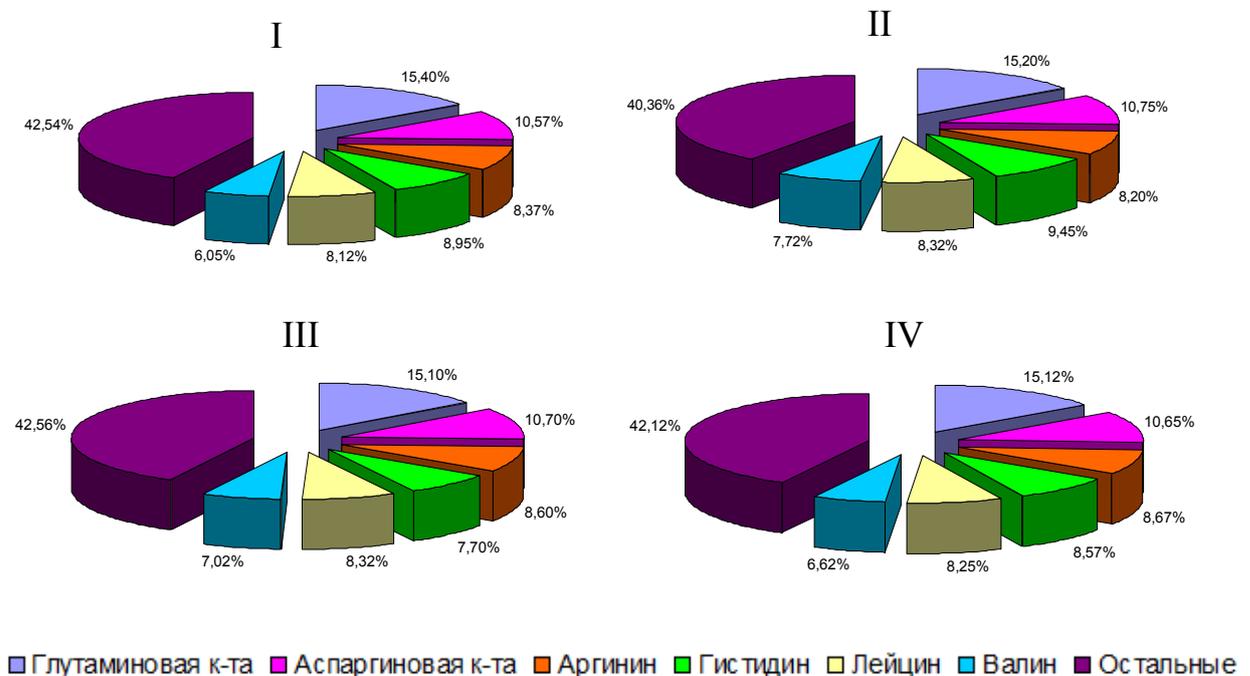


Рисунок 56 – Содержание преобладающих аминокислот в семенах сои:

I – Амурская область, II – Хабаровский край, III – Саратовская область, IV – Оренбургская область, % от суммы, среднее по сортам за 2010-2013 гг.

Состав аминокислот, наряду с другими биохимическими показателями, может служить индикатором стрессового состояния растений (Бритиков Е.А., 1975; Судачкова Н.Е. и др., 2012; Kim J.T., Glerum C., 1988; Verbruggen N., Hermans C., 2008; Szabados L., Savoure A., 2010). Согласно литературным данным, накопление пролина отмечают в тканях растений в ответ на засуху и

засоление (Бритиков Е.А., 1975; Судачкова Н.Е. и др., 1997; Stewart G.R., Larher F., 1980; Raymond M.J., Smirnoff N., 2002), при холодном стрессе (Gleeson D., Lelu-Walter M.A., Parkinson M., 2004) и других видах стресса (Барахтенова Л.А., 1991).

В проведенных исследованиях повышения уровня пролина не обнаружено, несмотря на то что растения при выращивании в разных регионах страны за годы исследований не раз подвергались воздействию различных неблагоприятных факторов внешней среды. Однако пролин не единственная аминокислота, которая накапливается при стрессе, отмечается повышение концентрации лизина, аргинина, гистидина, триптофана и  $\gamma$ -аминомасляной кислоты, аланина (Судачкова Н.Е. и др., 2012). К.Н. Сарсенбаев (1986) указывал на увеличение у сои свободных аминокислот, таких как изолейцин, лейцин, валин, фенилаланин, глутамин и гистидин при почвенной засухе. Анализ результатов исследования не выявил закономерностей в изменении аминокислотного состава белков семян сои от условий произрастания растений, за исключением гистидина (рис. 57).

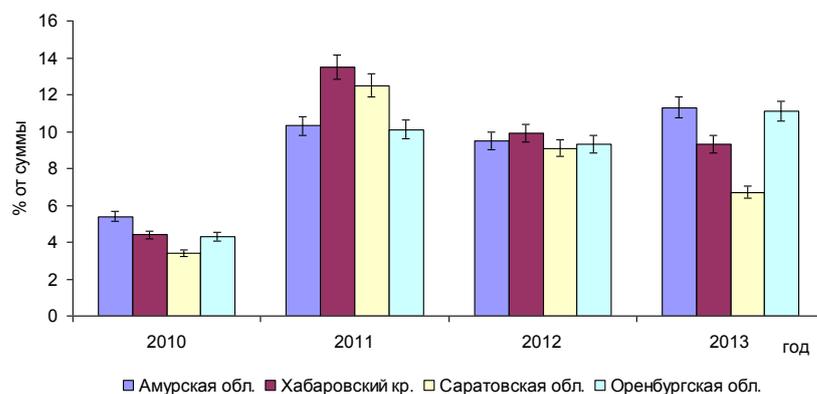


Рисунок 57 – Содержание гистидина в семенах сои, % от суммы, среднее по сортам за 2010-2013 гг.

Обнаружено, что содержание гистидина было максимальным в семенах с растений, выращенных в Хабаровском крае и Саратовской области в 2011 году, из Амурской и Оренбургской областей – в 2013 году, в годы, которые

отличались наибольшим количеством осадков в период «цветение-созревание». Возможно, именно гистидин выполняет функцию стрессовой аминокислоты в растениях сои и участвует в её адаптации к условиям выращивания.

Соя является источником не только белка, но и жира, несмотря на то что его содержание в семенах не столь высоко, как в других масличных культурах, именно соевое масло занимает ведущее место в мировом производстве растительных масел – 32,8% (Петибская В.С., 2012).

Содержание жира в семенах сои зависело от сортовых особенностей и от погодно-климатических условий выращивания (табл. 64).

Таблица 64 – Содержание жира в семенах сои, % на АСВ, 2010-2013 гг.

Сорт (фактор А)	Содержание жира в семенах сои, % на АСВ				$\bar{x}$
	Год (фактор Б)				
	2010	2011	2012	2013	
1	2	3	4	5	6
Амурская область					
Лидия	20,4	19,0	18,9	18,7	19,2
Соната	18,3	16,4	16,5	18,0	17,3
Соер 4	18,6	16,6	18,6	17,5	17,8
Гармония	20,2	18,1	17,8	18,1	18,5
$\bar{x}$	19,4	17,5	17,9	18,1	
НСР <sub>05</sub> = 1,01; НСР <sub>А</sub> = 0,50; НСР <sub>В</sub> = 0,50					
Хабаровский край					
Лидия	20,4	21,5	19,1	20,9	20,5
Соната	20,6	19,1	17,2	18,5	18,8
Соер 4	19,9	21,0	17,7	20,2	19,7
Гармония	22,0	20,7	18,8	20,7	20,5
$\bar{x}$	20,7	20,6	18,5	20,1	
НСР <sub>05</sub> = 0,84; НСР <sub>А</sub> = 0,42; НСР <sub>В</sub> = 0,42					
Саратовская область					
Лидия	20,2	19,0	17,7	16,8	18,4
Соната	16,2	18,7	16,7	16,6	17,0
Соер 4	16,5	18,3	17,2	18,3	17,6
Гармония	17,5	18,9	18,3	19,1	18,4
$\bar{x}$	17,6	18,7	17,5	17,7	
НСР <sub>05</sub> = 0,87; НСР <sub>А</sub> = 0,44; НСР <sub>В</sub> = 0,44					

Продолжение таблицы 64

1	2	3	4	5	6
Оренбургская область					
Лидия	18,3	18,2	16,2	17,2	17,5
Соната	16,4	17,7	15,8	16,6	16,6
Соер 4	16,6	17,9	16,4	17,0	17,0
Гармония	17,1	18,1	16,8	20,2	18,0
$\bar{x}$	17,1	18,0	16,3	17,7	
НСР <sub>05</sub> = 0,72; НСР <sub>A</sub> = 0,36; НСР <sub>B</sub> = 0,36					

В среднем за четыре года исследований наибольшее содержание жира отмечено в семенах сортов Лидия (20,5%) и Гармония (20,5%) из Хабаровского края, наименьшее – в семенах сорта Соната (16,6%) из Оренбургской области.

Погодные условия за годы исследования в регионах выращивания складывались по-разному. Самым лучшим годом для накопления жира в Амурской области (среднее 19,4%) и Хабаровском крае (среднее 20,7%) оказался 2010 год, в Саратовской (среднее 18,7%) и Оренбургской (среднее 18,0%) областях – 2011 год. Из изученных регионов наиболее благоприятным для получения семян с высокой масличностью является Хабаровский край.

Для выявления основных абиотических факторов, влияющих на накопление жира в семенах, был проведен корреляционный анализ. Содержание жира положительно коррелировало с осадками за вегетацию в Саратовской ( $r=0,730$ ,  $p<0,01$ ) и Оренбургской областях ( $r=0,726$ ,  $p<0,01$ ) и отрицательно с температурой воздуха в Амурской области за период «цветение-созревание» ( $r= -0,560$ ,  $p<0,05$ ) и Хабаровском крае за вегетацию ( $r= -0,853$ ,  $p<0,01$ ) (табл. 65).

Сильная положительная корреляция обнаружена между гидротермическим коэффициентом и содержанием жира в семенах из Саратовской области ( $r = 0,891$ ,  $p<0,01$ ). Связь между содержанием жира в семенах и суммой активных температур была сильной отрицательной в Хабаровском крае ( $r = -0,707$ ,  $p<0,01$ ).

Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о том, что содержание жира в семенах сои зависит от количества осадков в регионах, где они являются лимитирующим фактором, и находится в отрицательной зависимости от температуры воздуха.

Таблица 65 – Коэффициенты корреляции между содержанием жира в семенах сои и гидротермическими факторами

Фактор	Коэффициенты корреляции			
	Амурская область	Хабаровский край	Саратовская область	Оренбургская область
Сумма осадков за вегетацию, мм	0,332	-0,101	0,730**	0,726**
Сумма осадков за период «цветение-созревание», мм	0,355	-0,302	0,706**	0,728**
Среднесуточная температура воздуха за вегетацию, °С	0,322	-0,853**	-0,502*	-0,579*
Среднесуточная температура воздуха за период «цветение-созревание», °С	-0,560*	-0,297	-0,073	0,311
Сумма положительных температур свыше 10°С	-0,278	-0,707**	-0,567*	-0,251
ГТК за вегетацию	0,326	-0,465	0,891**	0,561*

Примечание: \* – статистически значимые изменения при  $p < 0,05$  ( $n = 16$ ,  $r_{\text{крит}} = 0,497$ ); \*\* – статистически значимые изменения при  $p < 0,01$  ( $r_{\text{крит}} = 0,623$ )

Для оценки взаимодействия «генотип-среда», значимости и величины вклада различных факторов в накопление жира семенами сои было проведено два двухфакторных и один трехфакторных дисперсионный анализ (прил. П, табл. П.4, П.5, П.6).

Результаты первого двухфакторного дисперсионного анализа показали, что вклад изучаемых факторов и их взаимодействия в накоплении жира семенами сои сильно варьирует в зависимости от региона выращивания. Доля вклада фактор «год» изменяется от 18,1% (Саратовская область) до

48,2% (Хабаровский край), а доля вклада «сорт» – от 24,4% (Хабаровский край) до 26,9% (Оренбургская область).

По данным второго двухфакторного дисперсионного анализа наибольший вклад в накопление жира семенами сои независимо от года исследования вносит фактор «регион выращивания».

Трехфакторный дисперсионный анализ показал, что наибольший вклад в накопление жира семенами сои вносит фактор «регион выращивания» (37,4%). Существенная роль в накоплении жира принадлежит взаимодействию «год x регион выращивания x сорт», доля которого составляет 12,0%.

Анализ изменчивости содержания жира в зависимости от сортовых особенностей, погодных и агроклиматических условий не позволил выявить наиболее стабильный сорт, так как коэффициенты вариации у сортов очень близки: для сорта Лидия –  $V = 7,9\%$ , для сорта Соната –  $V = 7,5\%$ , для сорта Соер 4 –  $V = 7,7\%$ , для сорта Гармония –  $V = 7,8\%$  (табл. 66, прил. Р, табл. Р.3).

Таблица 66 – Параметры адаптивных свойств сортов сои по содержанию жира в семенах сои, 2010-2013 гг.

Сорт	Жир, % lim	$b_i$	$S^2d_i$	$V, \%$	$H_{om}$
Лидия	16,2-21,5	1,09	0,87	7,9	44,9
Соната	15,8-20,6	0,96	0,60	7,5	48,7
Соер 4	16,4-21,0	1,02	0,32	7,7	50,7
Гармония	16,8-22,0	1,04	0,55	7,8	46,7

Сорта сои Лидия ( $b_i = 1,09$ ), Гармония ( $b_i = 1,09$ ), Соер 4 ( $b_i = 1,02$ ) сильнее реагируют на изменение условий выращивания, чем сорт Соната ( $b_i = 0,96$ ). Все изучаемые сорта сои характеризовались высокой гомеостатичностью.

Важным показателем качества соевого масла является его жирнокислотный состав, особенно содержание ненасыщенных жирных

кислот (олеиновой, линолевой, линоленовой). В среднем за годы исследования наибольшее количество олеиновой кислоты отмечено у сортов Соер 4 (14,19% от суммы) и Соната (13,94% от суммы), однако эти же сорта отличаются высоким содержанием линоленовой кислоты соответственно: 9,32% и 10,20% от суммы (прил. С, табл. С.3). Известно, что линоленовая кислота является нежелательным компонентом, так как способствует реверсии вкуса, запаха и цвета масла, но с другой стороны придает холодоустойчивость семенам в период прорастания (Sindh B.V., Hadley N.N., 1994).

В среднем за четыре года исследований семена с растений, выращенных в Саратовской (14,07% от суммы) и Оренбургской (16,02% от суммы) областях, содержали больше олеиновой кислоты, повышенное содержание линоленовой кислоты выявлено в семенах из Амурской области (9,91% от суммы) (рис. 58).

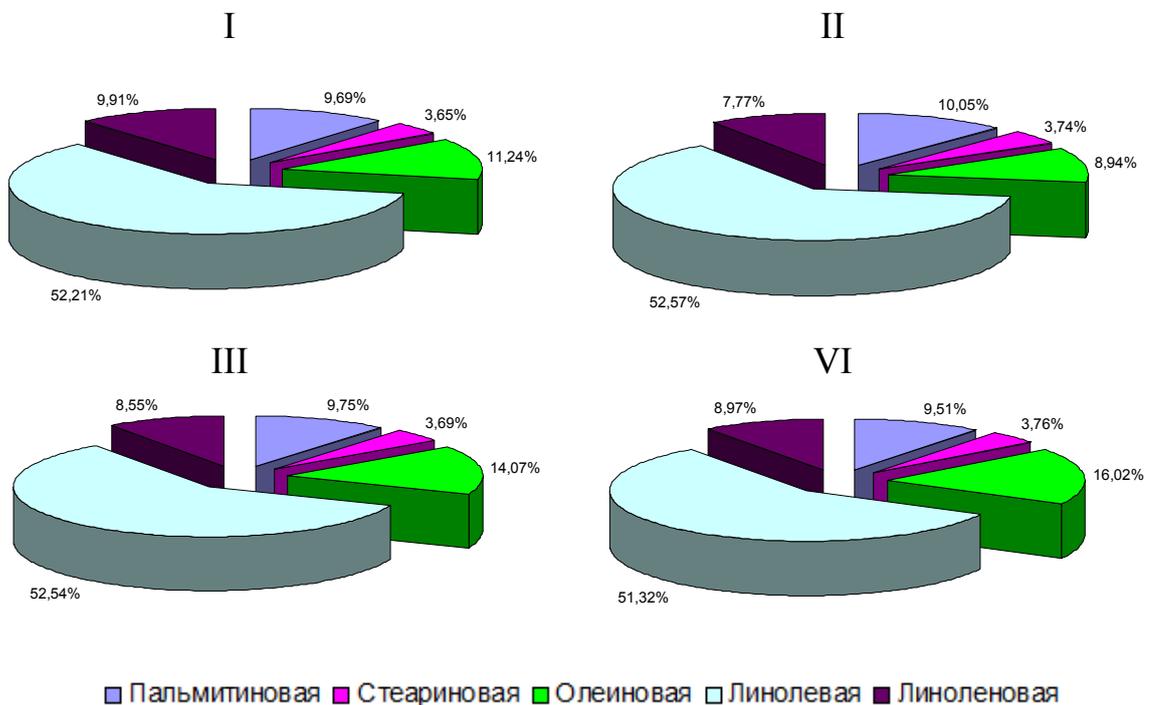


Рисунок 58 – Содержание преобладающих жирных кислот в семенах сои:

I – Амурская область, II – Хабаровский край, III – Саратовская область, IV – Оренбургская область, % от суммы, среднее по сортам за 2010-2013 гг.

Погодные условия оказывали влияние не только на накопление жира в семенах сои, но и на степень ненасыщенности жирных кислот, синтезируемых растением. Жаркая и засушливая погода способствовала увеличению содержания олеиновой кислоты в масле семян из Саратовской и Оренбургской областей (2010 г.) и Амурской области (2011 г.). Аналогичные данные были получены и в опытах с другими культурами (Бородулина А.А., Снесарь Э.В., 1983; Харченко Л.Н. и др., 1984; Никонова Г.Н., 2009). По данным ряда исследователей, линоленовая кислота накапливается в семенах сои, если процесс маслообразования происходит при невысокой температуре воздуха и обильных осадках (Бородулина А.А., Супрунова Л., Каленов П.А., 1984; Гамолин А.А., Ала А.Я., Романова Л.П., 1987).

Результаты наших исследований показали, что созревание семян при теплой с избыточным увлажнением погоде приводит к увеличению содержания линоленовой кислоты в масле семян всех исследованных сортов сои из Оренбургской области (2013 г.), у сортов Соната и Соер 4 из Амурской области (2010 г.), у сорта Соер 4 из Хабаровского края (2012 г.) (прил. С, табл. С.3).

В ряде работ представлены данные об отсутствии взаимосвязи между масличностью семян сои и их жирнокислотным составом, но при этом были установлены корреляционные связи между жирными кислотами (Селихова О.А., 2003; Тымчук Д.С. и др., 2005). Однако В.Э. Альберт с соавторами (1976) отметил тенденцию к увеличению содержания олеиновой кислоты и снижению количества линолевой и линоленовой кислот по мере возрастания масличности семян. В процессе исследований были рассчитаны коэффициенты корреляции для установления связей между содержанием жира и жирнокислотным составом в семенах сои, произрастающей в различных агроклиматических условиях (табл. 67).

Корреляционный анализ показал наличие статистически значимых взаимосвязей между масличностью семян и некоторыми жирными кислотами, установлена сильная положительная связь с пальмитиновой

кислотой, увеличение масличности приводит к снижению олеиновой и линоленовой кислот. Выявлена достоверная положительная корреляция между содержанием пальмитиновой и линолевой кислотами, достоверная отрицательная связь между пальмитиновой и олеиновой, стеариновой и линоленовой, олеиновой и линолевой кислотами. Отсутствовала достоверная корреляция между пальмитиновой и линоленовой кислотами. Аналогичные данные были получены другими авторами (Тымчук Д.С. и др., 2005; Primomo V. et al., 2002), подтверждающими наличие независимых систем генетической регуляции содержания пальмитата и линолената в соевом масле и возможности сочетания их низких уровней в пределах одного сорта.

Таблица 67 – Коэффициенты корреляции между содержанием жира семян сои и жирнокислотным составом

Жирные кислоты	Жир	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2
Пальмитиновая (C16:0)	0,769**				
Стеариновая (C18:0)	0,353	0,014			
Олеиновая (C18:1)	-0,795**	-0,757**	0,095		
Линолевая (C18:2)	0,566*	0,616**	-0,278	-0,658**	
Линоленовая (C18:3)	-0,689**	-0,265	-0,678**	0,362	-0,357

Примечание: \* – статистически значимые изменения при  $p < 0,05$  ( $n = 16$ ,  $r_{\text{крит}} = 0,497$ ); \*\* – статистически значимые изменения при  $p < 0,01$  ( $r_{\text{крит}} = 0,623$ )

Исходя из современных представлений о механизмах образования жирных кислот, процесс образования полиненасыщенных кислот идет по схеме: олеиновая кислота → линолевая кислота → линоленовая кислота (Ohlrogge J.B., Browse J., 1995). Пониженное содержание олеиновой кислоты в масле свидетельствует о том, что интенсивно протекает синтез линолевой кислоты. В наших опытах корреляция между линолевой и линоленовой кислотами была слабой отрицательной, по-видимому, это связано с тем, что

содержание линоленовой кислоты в масле сильно зависит от условий выращивания сои. Отсутствовала достоверная корреляция между пальмитиновой и линоленовой кислотами. Аналогичные данные были получены другими авторами (Тымчук Д.С. и др., 2005; Primomo V. et al., 2002), подтверждающими наличие независимых систем генетической регуляции содержания пальмитата и линолената в соевом масле и возможности сочетания их низких уровней в пределах одного сорта.

Изучая адаптивность сои, было определено содержание белка и жира в семенах нескольких репродукций, выращенных в 2013 году в регионах с различными агроклиматическими условиями. В процессе адаптации сои к условиям произрастания наблюдается увеличение содержания белка в семенах у всех исследованных сортов репродукции второго года (табл. 68). Аминокислотный состав белков в основном был стабилен, и по сортам, и по регионам (прил. С, табл. С.2). При адаптации сои к условиям выращивания существенных изменений масличности семян не обнаружено. Отмечена тенденция увеличения содержания жира в семенах саратовской репродукции второго года (табл. 68).

Содержание насыщенных жирных кислот в семенах сои при адаптации к условиям выращивания изменяется незначительно, более изменчивыми были ненасыщенные кислоты: олеиновая и линоленовая кислоты. Семена более приспособленных растений из всех регионов, включенных в исследование, содержали олеиновой кислоты больше, чем семена репродукций первого года. В семенах хабаровской репродукции третьего года увеличивается содержание не только олеиновой кислоты, но и линоленовой. Отмечено увеличение линоленовой кислоты в семенах оренбургской репродукции второго года, но затем оно снижается, семена репродукции третьего года содержат линоленовой кислоты меньше, чем в амурской репродукции, полученной в данном регионе в 2013 году (прил. С, табл. С.4).

Таблица 68 – Изменение содержания белка и жира в семенах сои при их адаптации к агроклиматическим условиям региона выращивания, % на АСВ, 2013 г.

Сорт	Репродукция					
	I		II		III	
	белок	жир	белок	жир	белок	жир
	$\bar{X} \pm S\bar{x}$		$\bar{X} \pm S\bar{x}$		$\bar{X} \pm S\bar{x}$	
хабаровская						
Лидия	30,3 ± 0,3	20,7 ± 0,3	37,2 ± 0,6	20,7 ± 0,2	31,2 ± 0,6	20,6 ± 0,2
Соната	34,5 ± 0,2	18,4 ± 0,2	41,9 ± 0,4	18,7 ± 0,3	35,9 ± 0,3	18,8 ± 0,1
Соер 4	32,1 ± 0,2	20,7 ± 0,6	38,2 ± 0,3	20,7 ± 0,3	31,2 ± 0,3	20,5 ± 0,3
Гармония	28,7 ± 0,1	20,4 ± 0,3	39,9 ± 0,3	20,7 ± 0,2	27,9 ± 0,2	20,7 ± 0,3
саратовская						
Лидия	39,2 ± 0,3	17,2 ± 0,2	41,4 ± 0,8	18,5 ± 0,3	-	-
Соната	39,3 ± 0,3	17,0 ± 0,3	42,3 ± 0,8	18,0 ± 0,3	-	-
Соер 4	36,8 ± 0,6	16,2 ± 0,4	39,2 ± 0,3	17,9 ± 0,1	-	-
Гармония	33,1 ± 0,1	16,7 ± 0,3	39,2 ± 0,3	18,9 ± 0,4	-	-
оренбургская						
Лидия	39,2 ± 0,3	18,6 ± 0,3	41,1 ± 0,6	18,4 ± 0,6	40,9 ± 0,6	18,1 ± 0,3
Соната	41,2 ± 0,6	17,7 ± 0,3	41,5 ± 0,2	17,8 ± 0,6	39,9 ± 0,6	17,3 ± 0,2
Соер 4	41,1 ± 0,6	17,6 ± 0,2	42,1 ± 0,3	17,0 ± 0,3	41,5 ± 0,3	17,4 ± 0,2
Гармония	37,9 ± 0,3	18,8 ± 0,6	38,1 ± 0,3	18,9 ± 0,3	36,9 ± 0,3	18,4 ± 0,3

Примечание:  $\bar{X} \pm S\bar{x}$  – среднее арифметическое ± ошибка среднего

Выявленные различия в содержании олеиновой и линоленовой кислот в липидах сои при её адаптации к различным агроклиматическим условиям свидетельствуют о возможности использования данного показателя для оценки её адаптивного потенциала.

Таким образом, результаты исследования химического состава семян сои, выращенных в различных агроклиматических и погодных условиях, показали некоторые различия по содержанию белка и жира, глицина, валина, тирозина в белках, по жирнокислотному составу, а именно олеиновой и линоленовой кислот. В среднем за годы исследования повышенным содержанием белка и аминокислот (валин, изолейцин, метионин+ цистеин) отличались скороспелые сорта Соната и Соер 4, при этом сорт Соната зарекомендовал себя как самый стабильный при выращивании в различных агроклиматических условиях (коэффициент вариации – 5,3%). Наибольшее

содержание жира в среднем за четыре года исследования отмечено в семенах сортов Лидия и Гармония, однако семена сортов Соер 4 и Соната содержали больше олеиновой и линоленовой кислот. Корреляционный анализ позволил для каждого региона выявить основные факторы окружающей среды, определяющие химический состав семян сои. В агроклиматических условиях Амурской и Оренбургской областей в семенах сои больше накапливается белка, в Хабаровском крае – жира.

### **6.3 Изменение энзиматической активности сои при выращивании в различных агроклиматических условиях, взаимосвязи с урожайностью, содержанием белка и жира**

Соя – культура с высокой адаптационной способностью. Возможность возделывания сои в различных агроклиматических зонах определяется её способностью приспосабливаться к экстремальным погодным условиям. В приспособительных реакциях растений к почвенно-климатическим и погодным условиям принимают участие ферменты пероксидазы и каталазы (Мелик-Саркисов О.С. и др., 1990; Солдатова О.П. и др., 1999; Васильева Г.Г., 2004; Прадедова Е.В. и др., 2011; Иваченко Л.Е., 2010, 2012).

Климатические и погодные условия оказывают существенное влияние на активность пероксидазы и каталазы в семенах сои. Б.И. Ющенко, Н.А. Дранова, Г.П. Ефимова (1987) в результате своих исследований установили, что активность каталазы в семенах сои, выращенной в южной сельскохозяйственной зоне Амурской области, выше, чем в центральной и северной, а активность пероксидазы ниже, чем в северной. О.А. Селиховой (2003) была выявлена отрицательная зависимость между количеством выпавших осадков и активностью пероксидазы, и положительная зависимость с активностью каталазы в семенах сои.

При выращивании коллекционных образцов сои различных эколого-географических групп в условиях Амурской и Московской областей,

повышенной активностью и высокой гетерогенностью пероксидаз, рибонуклеаз и эстераз отличались семена из Амурской области (Иваченко Л.Е., 2012). Ранее было установлено, что семена сортов Соната и Гармония (амурской селекции), выращенные в условиях Амурской области, характеризуются большой удельной активностью пероксидазы, в условиях Московской области семена этих сортов обладали высокой удельной активностью каталазы (Гинс М.С. и др., 2005).

Однако проведенных исследований по изучению энзиматических механизмов адаптации растений сои к агроклиматическим условиям недостаточно. В связи с этим изучение ферментативной активности семян сои, выращенных в контрастных агроклиматических условиях, позволит более детально рассмотреть вопросы адаптации. Семена сортов сои, включенных в исследование, различались активностью ферментов, особенно удельной активностью пероксидазы (рис. 59, прил. Т, табл. Т.1).

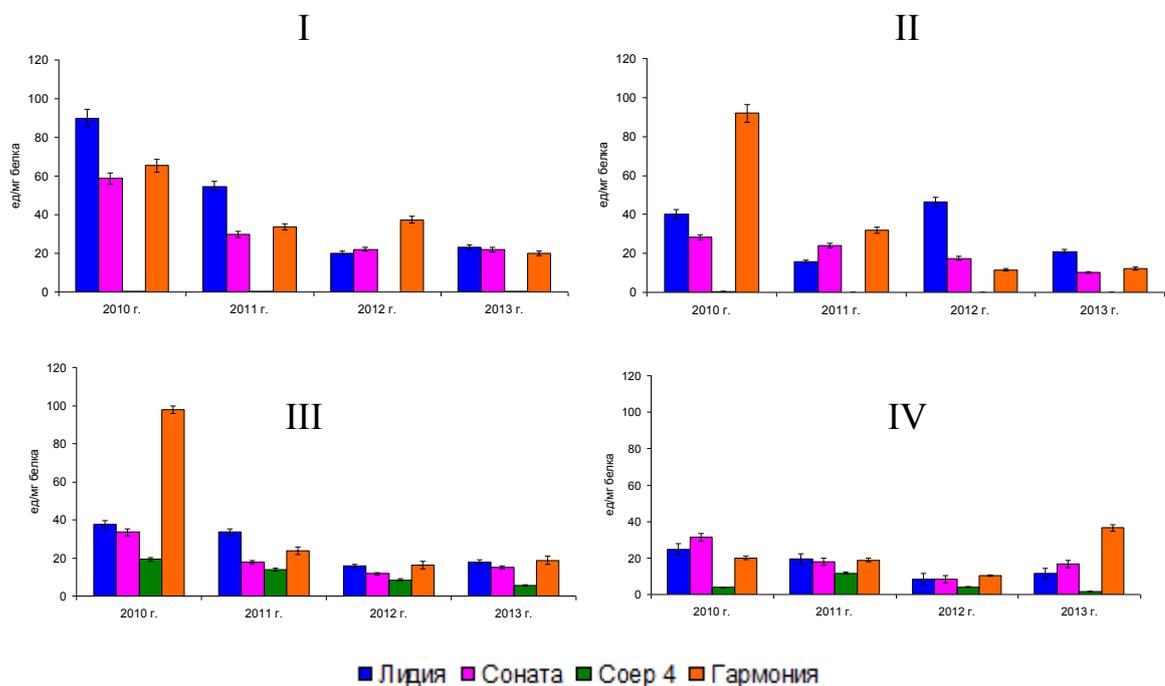


Рисунок 59 – Удельная активность пероксидазы в семенах сои: I – Амурская область, II – Хабаровский край, III – Саратовская область, IV – Оренбургская область, ед/мг белка, 2010-2013 гг.

Сорта амурской селекции Лидия, Соната и Гармония относятся к высокопероксидазным, а сорт Соер 4 (саратовской селекции) при выращивании в Амурской области проявил себя как низкопероксидазный, низкая активность фермента была зафиксирована и в семенах данного сорта, полученных из Хабаровского края.

В работе В.Р. Buttery и R.I. Buzzell (1968) показано, что активность пероксидазы кожуры сои является высоко наследуемым признаком. Однако в климатических условиях Саратовской и Оренбургской областей сорт Соер 4 проявил себя по-иному, несмотря на то, что активность фермента была немного ниже, чем у других сортов, в то же время она была в 59 и 29 раз выше, чем в семенах из Амурской области. Известно, что пероксидаза функционально очень лабильный фермент, интенсивность её синтеза зависит от условий внешней среды (Карташова Е.Р., Руденская Г.Н., Юрина Е.В., 2000; Fry S.C., 1990). По-видимому, особенности климата этих регионов, жаркое и засушливое лето, способствовали росту активности пероксидазы у сорта Соер 4.

В среднем за 2010-2013 гг. удельная активность пероксидазы в семенах сои амурской селекции была выше в Амурской области. Наиболее высокая активность пероксидазы отмечена в семенах сорта Лидия из Амурской области и сорта Гармония из Амурской и Саратовской областей. Регионы РФ, в которых проводили исследования, отличались не только климатическими, но и погодными условиями, которые складывались по годам по-разному. В 2010 году выявлена высокая активность пероксидазы во всех регионах, несмотря на то что они существенно отличались своим гидротермическим режимом в период вегетации сои.

Корреляционный анализ показал, что активность пероксидазы в семенах сои, выращенной в различных агроклиматических условиях, слабо связана с количеством осадков (табл. 69).

Обратная корреляция средней силы выявлена между активностью пероксидазы и среднесуточной температурой воздуха за период «цветение-

созревание» в Амурской области и Хабаровском крае, это значит, что с повышением температуры активность пероксидазы в семенах снижалась. В Саратовской и Оренбургской областях, наоборот, между активностью пероксидазы и среднесуточной температурой воздуха за данный период связь была положительной, т.е. с повышением температуры воздуха активность пероксидазы увеличивается.

Таблица 69 – Коэффициенты корреляции между удельной активностью пероксидазы в семенах сои и гидротермическими факторами

Фактор	Коэффициенты корреляции			
	Амурская область	Хабаровский край	Саратовская область	Оренбургская область
Сумма осадков за вегетацию, мм	-0,124	0,083	-0,347	0,077
Сумма осадков за период «цветение-созревание», мм	-0,014	-0,157	-0,342	0,185
Среднесуточная температура воздуха за вегетацию, °С	0,367	-0,131	0,563*	-0,020
Среднесуточная температура воздуха за период «цветение-созревание», °С	-0,561*	-0,483*	0,596*	0,746**
Сумма положительных температур свыше 10°С	-0,329	-0,113	0,518*	0,480
Гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетацию	-0,119	-0,102	-0,286	-0,056

Примечание: \* – статистически значимые изменения при  $p < 0,05$  ( $n = 16$ ,  $r_{\text{крит}} = 0,497$ ); \*\* – статистически значимые изменения при  $p < 0,01$  ( $r_{\text{крит}} = 0,623$ )

Анализ удельной активности каталазы в семенах сои, выращенной в разных агроклиматических условиях, показал, что разные сорта сои неодинаково реагировали на изменение почвенно-климатических условий (рис. 60, прил. Т, табл. Т.2). Наиболее высокая удельная активность каталазы, в среднем по годам, выявлена в семенах сортов Лидия и Соер 4 из Саратовской области, сорта Соната – из Амурской и Саратовской областей,

сорта Гармония – из Амурской области. Удельная активность каталазы в семенах сои, выращенной в Хабаровском крае, была самой низкой за годы исследования, в среднем она изменялась от 25 до 35 ед/мг белка  $\times 10^{-3}$  по сортам.

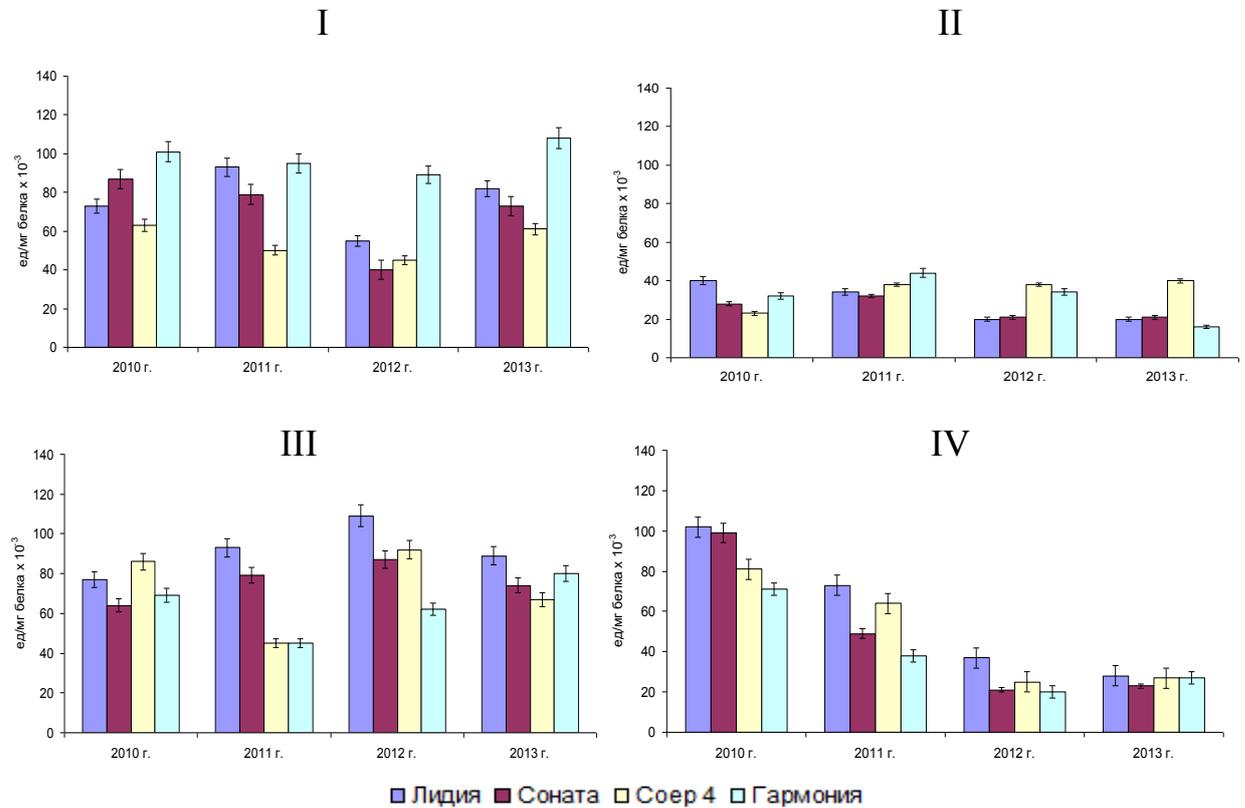


Рисунок 60 – Удельная активность каталазы в семенах сои:

I – Амурская область, II – Хабаровский край, III – Саратовская область,  
IV – Оренбургская область, ед/мг белка  $\times 10^{-3}$ , 2010-2013 гг.

Погодные условия оказали влияние на активность фермента: самая низкая активность каталазы в семенах всех исследованных сортов сои, выращенной в Амурской области, отмечена в 2012 году, который характеризовался повышенным температурным режимом в период «цветение-созревание» сои. В Хабаровском крае снижение активности каталазы выявлено в 2013 году, созревание семян происходило при жаркой погоде, температура воздуха была на  $2^{\circ}\text{C}$  выше средней многолетней. Однако в Оренбургской и Саратовской областях, наоборот, в аномально жарких

условиях 2010 и 2012 гг. на растениях сои сформировались семена, обладающие высокой активностью каталазы.

Взаимосвязи активности каталазы с гидротермическими факторами были в основном слабыми или средней силы, но недостоверными и только в семенах из Оренбургской области установлены статистически значимые корреляции между активностью энзима и среднесуточной температурой воздуха за период «цветение-созревание», гидротермическим коэффициентом за вегетацию (табл. 70).

Таблица 70 – Коэффициенты корреляции между удельной активностью каталазы в семенах сои и гидротермическими факторами

Фактор	Коэффициенты корреляции			
	Амурская область	Хабаровский край	Саратовская область	Оренбургская область
Сумма осадков за вегетацию, мм	0,183	0,471	-0,254	-0,469
Сумма осадков за период «цветение-созревание», мм	0,014	0,372	-0,251	-0,251
Среднесуточная температура воздуха за вегетацию, °С	-0,133	-0,435	0,050	-0,020
Среднесуточная температура воздуха за период «цветение-созревание», °С	-0,218	-0,128	-0,086	0,746**
Сумма положительных температур свыше 10°С	-0,481	-0,366	0,105	0,480
Гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетацию	0,202	0,331	-0,315	-0,602*

Примечание: \* – статистически значимые изменения при  $p < 0,05$  ( $n = 16$ ,  $r_{\text{крит}} = 0,497$ ); \*\* – статистически значимые изменения при  $p < 0,01$  ( $r_{\text{крит}} = 0,623$ )

Изменчивость электрофоретических спектров пероксидазы в зависимости от абиотических и биотических факторов окружающей среды многократно отмечалась в работах отечественных и зарубежных ученых, в том числе и наши, данные представленные в предыдущих главах,

свидетельствуют об этом. Согласно литературным данным, множественные молекулярные формы пероксидазы можно использовать в качестве маркеров адаптации сои к условиям окружающей среды (Алексеев В.Г., 1994; Иваченко Л.Е., 2011).

В семенах сорта Лидия выявлено пять форм пероксидазы, в семенах сортов Соната и Гармония – по четыре. У сорта Соер 4 обнаружена одна форма со средней электрофоретической подвижностью ( $R_f$  0,42), имеющая слабую интенсивность окрашивания (рис. 61).

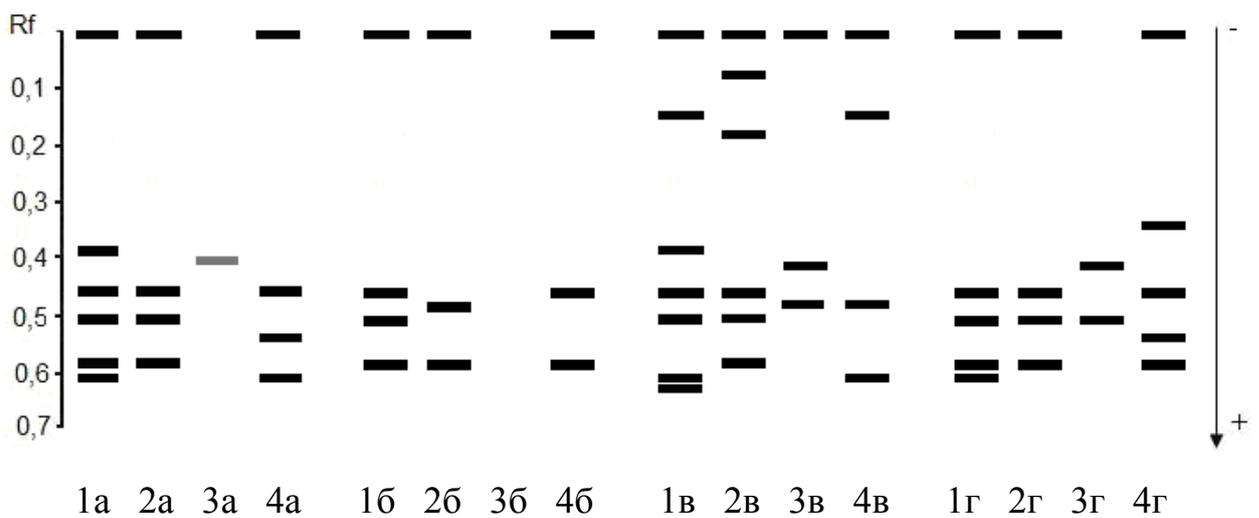


Рисунок 61 – Схемы электрофоретических спектров пероксидазы в семенах сои: 1 – Лидия, 2 – Соната, 3 – Соер 4, 4 – Гармония; а – Амурская область, б – Хабаровский край, в – Саратовская область, г – Оренбургская область

Семена всех сортов сои амурской селекции из Хабаровского края содержали меньше форм фермента, чем из Амурской области. В Саратовской и Оренбургской областях недостаточная влагообеспеченность и высокая температура воздуха в течение периода вегетации сои привели к увеличению гетерогенности пероксидазы, за исключением сорта Гармония. Возможно, адаптивные свойства этого сорта сопровождаются не количественными, а качественными изменениями в электрофоретических спектрах, что связано с биологическими особенностями сорта, более продолжительным периодом вегетации.

При изучении электрофоретических спектров каталазы в семенах сои сортов (амурской селекции), выращенных в Амурской области, выявлено три формы каталазы, имеющих разную электрофоретическую подвижность. В семенах сортов Лидия и Соната из Хабаровского края обнаружены дополнительные множественные молекулярные формы со средней электрофоретической подвижностью (рис. 62). Наибольшее количество множественных молекулярных форм каталазы выявлено в семенах сорта Соер 4, полученных из Амурской области и Хабаровского края.

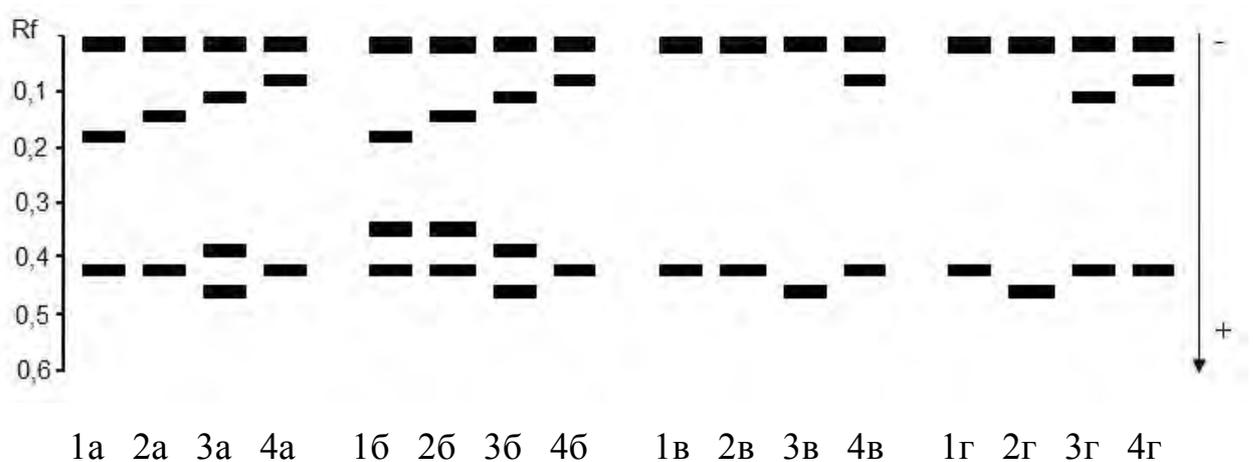


Рисунок 62 – Схемы электрофоретических спектров каталазы в семенах сои:

1 – Лидия, 2 – Соната, 3 – Соер 4, 4 – Гармония; а – Амурская область, б – Хабаровский край, в – Саратовская область, г – Оренбургская область

В семенах сортов Лидия, Соната и Соер 4, выращенных в условиях Саратовской и Оренбургской областей, наблюдалось уменьшение количества множественных молекулярных форм каталазы. Наибольшую стабильность проявил сорт Гармония, его электрофоретический спектр содержит одинаковое количество компонентов независимо от региона выращивания сои.

Для оценки взаимосвязи активности ферментов в семенах сои с урожайностью, содержанием белка и жира был проведен линейный корреляционный анализ (табл. 71, 72). Установлено, что урожайность семян

сои имеет слабую связь с активностью пероксидазы во всех регионах проведения исследований. Содержание белка и жира в семенах сои статистически значимо коррелировало с активностью пероксидазы только в Амурской области.

Таблица 71 – Коэффициенты корреляции между урожайностью, содержанием белка, жира и активностью пероксидазы в семенах сои

Показатели	Коэффициенты корреляции			
	Амурская область	Хабаровский край	Саратовская область	Оренбургская область
Урожайность семян, ц/га	0,270	-0,133	-0,326	0,049
Белок, %	-0,593*	0,082	-0,395	-0,159
Жир, %	0,603*	0,390	0,066	-0,133

Примечание: \* – статистически значимые изменения при  $p < 0,05$  ( $n = 16$ ,  $r_{\text{крит}} = 0,497$ )

Между урожайностью и активностью каталазы в семенах сои выявлена статистически значимая отрицательная средней силы связь в Саратовской и Оренбургской областях. В Амурской области корреляция была положительная средней силы, но несущественная.

Таблица 72 – Коэффициенты корреляции между урожайностью, содержанием белка, жира и активностью каталазы в семенах сои

Показатели	Коэффициенты корреляции			
	Амурская область	Хабаровский край	Саратовская область	Оренбургская область
Урожайность семян, ц/га	0,417	-0,203	-0,572*	-0,584*
Белок, %	-0,490	0,185	0,432	-0,654**
Жир, %	0,358	0,206	-0,194	-0,124

Примечание: \* – статистически значимые изменения при  $p < 0,05$  ( $n = 16$ ,  $r_{\text{крит}} = 0,497$ ); \*\* – статистически значимые изменения при  $p < 0,01$  ( $r_{\text{крит}} = 0,623$ )

Содержание белка в семенах сои отрицательно коррелировало с активностью каталазы в семенах из Амурской и Оренбургской областей,

положительно – из Хабаровского края и Саратовской области. Статистически значимой связь была только в семенах из Оренбургской области. Корреляции между содержанием жира и активностью каталазы были слабыми и несущественными.

Особый интерес представляет сопоставление активности антиоксидантных ферментов с параметрами адаптивности по урожайности (пластичностью, стабильностью, вариабельностью и гомеостатичностью).

Коэффициенты корреляции между пластичностью и активностью пероксидазы зависели от условий региона и варьировали в пределах от 0,247 до 0,637. Статистически значимая связь между данными показателями отмечена в Хабаровском крае и Саратовской области. Взаимосвязь между стабильностью сортов сои по урожайности и активностью пероксидазы семян сои была сильной положительной во всех регионах, участвующих в исследовании (табл. 73).

Таблица 73 – Коэффициенты корреляции между некоторыми параметрами адаптивности по урожайности и активностью пероксидазы в семенах сои

Показатели	Коэффициенты корреляции			
	Амурская область	Хабаровский край	Саратовская область	Оренбургская область
$b_i$	0,562	0,637*	0,617*	0,247
$S_i^2$	0,671*	0,891**	0,997**	0,786**
V, %	0,759**	0,696*	0,518	0,364
$H_{om}$	-0,738**	-0,749**	-0,643*	-0,404

Примечание: \* – статистически значимые изменения при  $p < 0,05$  ( $n = 16$ ,  $r_{крит} = 0,497$ ); \*\* – статистически значимые изменения при  $p < 0,01$  ( $r_{крит} = 0,623$ )

Активность пероксидазы положительно коррелировала с вариабельностью сортов сои и отрицательно – с гомеостатичностью. Это позволяет заключить, что усиление связи активности фермента с изменчивостью урожайности приводит к снижению связи с показателем гомеостатичности и наоборот.

В отличие от пероксидазы взаимосвязь между активностью каталазы и пластичностью была недостоверной слабой или средней силы, а со стабильностью сортов сои преимущественно отрицательной и только в Амурской области она была сильной положительной (табл. 74).

Таблица 74 – Коэффициенты корреляции между некоторыми параметрами адаптивности по урожайности и активностью каталазы в семенах сои

Показатели	Коэффициенты корреляции			
	Амурская область	Хабаровский край	Саратовская область	Оренбургская область
$b_i$	0,541	0,119	0,368	0,301
$S_i^2$	0,989**	-0,104	-0,306	-0,465
$V, \%$	0,463	-0,254	0,654*	0,544
$H_{om}$	-0,583*	0,136	-0,493	-0,383

Примечание: \* – статистически значимые изменения при  $p < 0,05$  ( $n = 16$ ,  $r_{крит} = 0,497$ ); \*\* – статистически значимые изменения при  $p < 0,01$  ( $r_{крит} = 0,623$ )

Анализ взаимосвязей активности ферментов с некоторыми параметрами адаптивности позволяет заключить, что пероксидаза в большей степени связана с адаптивностью сортов сои по признаку «урожайность», чем каталаза.

Для лучшего понимания энзиматических механизмов адаптации сои к новым условиям произрастания были определены количественные и качественные изменения ферментов в семенах нескольких репродукций изучаемых сортов сои при выращивании их в разных регионах страны.

В семенах первой хабаровской репродукции активность пероксидазы была на уровне амурской репродукции, по мере приспособления растений к новым условиям она увеличивается, особенно у сортов Соната и Лидия. Отмечен рост гетерогенности пероксидазы в семенах при адаптации сои к условиям выращивания. У сорта Соер 4 активность фермента осталась очень низкой, электрофоретический спектр содержал только один минорный компонент (табл. 75).

Таблица 75 – Удельная активность и множественные молекулярные формы пероксидазы в семенах сои при адаптации к условиям выращивания, ед/мг белка, 2013 г.

Сорт	Репродукция					
	I		II		III	
	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	ММФФ	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	ММФФ	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	ММФФ
хабаровская						
Лидия	18,2 ± 0,2	0,02; 0,45	18,7 ± 0,2	0,02; 0,45; 0,51	28,1 ± 0,3	0,02; 0,45; 0,51
Соната	14,0 ± 0,6	0,02; 0,53	16,6 ± 0,3	0,02; 0,53 0,57	31,5 ± 0,6	0,02; 0,53 0,57
Соер 4	0,6 ± 0,01	-	0,6 ± 0,01	0,41	0,1 ± 0,01	0,41
Гармония	12,9 ± 0,3	0,02; 0,53; 0,61	17,1 ± 0,6	0,02; 0,54; 0,57; 0,65	18,6 ± 0,3	0,02; 0,54; 0,57; 0,65
саратовская						
Лидия	19,9 ± 0,3	0,02; 0,16 0,29; 0,34; 0,45; 0,51 0,61; 0,69	13,3 ± 0,3	0,02; 0,16 0,34; 0,45 0,51; 0,61	-	-
Соната	19,3 ± 0,6	0,02; 0,21 0,34; 0,46; 0,52; 0,57	11,5 ± 0,3	0,02; 0,46; 0,52; 0,57	-	-
Соер 4	6,9 ± 0,1	0,08; 0,19; 0,48; 0,55	3,8 ± 0,1	0,08; 0,19; 0,48; 0,55	-	-
Гармония	5,0 ± 0,3	0,02; 0,20; 0,53; 0,60	5,1 ± 0,1	0,02; 0,17; 0,53; 0,60	-	-
оренбургская						
Лидия	15,8 ± 0,6	0,02; 0,46; 0,50	4,7 ± 0,2	0,02; 0,46; 0,53	6,4 ± 0,3	0,02; 0,46; 0,53; 0,60
Соната	35,4 ± 3	0,02; 0,46; 0,52	8,1 ± 0,3	0,02; 0,46; 0,52	7,9 ± 0,3	0,02; 0,32; 0,46; 0,52
Соер 4	3,3 ± 0,1	0,45	0,2 ± 0,01	0,42	0,3 ± 0,01	0,42
Гармония	46,4 ± 0,7	0,02; 0,18; 0,47; 0,54; 0,58	3,2 ± 0,1	0,02; 0,18; 0,44; 0,54; 0,58	3,2 ± 0,1	0,02; 0,18 0,44; 0,54 0,58

Примечание:  $\bar{X} \pm S\bar{x}$  – среднее арифметическое ± ошибка среднего

Адаптация сои к агроклиматическим условиям Саратовской области сопровождалась снижением удельной активности пероксидазы (у сортов Лидия, Соната, Соер 4) и уменьшением количества множественных молекулярных форм в семенах: у сорта Лидия – с 8 до 6, у сорта Соната – с 6

до 4. У остальных сортов электрофоретические спектры остались без изменений.

Анализ пероксидазной активности в семенах из Оренбургской области показал, что семена более приспособленных растений (III репродукция) имели активность фермента ниже в 2,5-14,5 раза, а множественных молекулярных форм больше, чем в семенах первой оренбургской репродукции. Самая низкая активность фермента отмечена у сорта Соер 4 (III репродукция) – в 11 раз ниже, чем в первой. В электрофоретическом спектре выявлена только одна форма пероксидазы со средней электрофоретической подвижностью  $R_f$  0,42. У сорта Гармония электрофоретический спектр остался без изменений.

Адаптация растений сои к агроклиматическим условиям Хабаровского края с участием каталазы сопровождается увеличением активности и количества форм фермента у сортов сои амурской селекции. У сорта Соер 4, несмотря на увеличение активности фермента, электрофоретический спектр не изменялся (табл. 76).

Анализ активности каталазы семян сои из Саратовской области показал, что у сортов Соната и Гармония (II репродукция) отмечается высокая активность фермента, однако количество форм и их электрофоретическая подвижность остаются стабильными. Адаптация сорта Соер 4 сопровождается усложнением электрофоретического спектра за счет дополнительного компонента с  $R_f$  0,12.

В процессе адаптации сои к условиям Оренбургской области обнаружена высокая активность каталазы в семенах третьей репродукции, в 3-5 раз выше, чем в первой. При этом наблюдается изменение электрофоретических спектров, количества множественных молекулярных форм уменьшается. Полученные данные указывают на противоположное действие каталазы и пероксидазы, обратная зависимость выявлена также между количеством множественных форм пероксидаз и каталаз.

Таблица 76 – Удельная активность и множественные молекулярные формы каталазы в семенах сои при адаптации к условиям выращивания, ед/мг белка  $\times 10^{-3}$ , 2013 г.

Сорт	Репродукция					
	I		II		III	
	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	ММФФ	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	ММФФ	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	ММФФ
1	2	3	4	5	6	7
хабаровская						
Лидия	$29 \pm 1,2$	0,05; 0,35; 0,44	$38 \pm 0,6$	0,05; 0,23; 0,31; 0,44	$38 \pm 0,3$	0,05; 0,13; 0,35; 0,44
Соната	$26 \pm 0,6$	0,05; 0,12	$30 \pm 0,3$	0,05; 0,12	$45 \pm 0,3$	0,05; 0,12; 0,42
Соер 4	$23 \pm 1,2$	0,05; 0,37; 0,52	$27 \pm 0,3$	0,05; 0,37; 0,52	$31 \pm 0,1$	0,05; 0,37; 0,52
Гармония	$30 \pm 0,6$	0,05; 0,15	$33 \pm 0,1$	0,05; 0,15; 0,43	$38 \pm 0,1$	0,05; 0,15; 0,43
саратовская						
Лидия	$69 \pm 1,2$	0,05; 0,12 0,50	$50 \pm 0,7$	0,05; 0,12; 0,50	-	-
Соната	$70 \pm 0,6$	0,07; 0,15; 0,51	$75 \pm 0,6$	0,07; 0,15; 0,51	-	-
Соер 4	$53 \pm 0,3$	0,05; 0,48	$41 \pm 0,3$	0,05; 0,12; 0,48	-	-
Гармония	$47 \pm 0,3$	0,07; 0,23; 0,52	$79 \pm 0,3$	0,07; 0,23; 0,52	-	-
оренбургская						
Лидия	$12 \pm 0,1$	0,05; 0,14; 0,27; 0,47	$10 \pm 0,1$	0,05; 0,11; 0,27; 0,47	$48 \pm 0,6$	0,05; 0,11; 0,47
Соната	$18 \pm 0,3$	0,07; 0,12; 0,24; 0,44	$21 \pm 0,3$	0,07; 0,12; 0,24; 0,44	$54 \pm 0,6$	0,07; 0,24; 0,50
Соер 4	$16 \pm 0,6$	0,07; 0,22; 0,31; 0,48	$31 \pm 0,3$	0,05; 0,20; 0,48	$48 \pm 0,3$	0,07; 0,22; 0,48
Гармония	$11 \pm 0,1$	0,05; 0,08; 0,15; 0,50	$30 \pm 0,6$	0,07; 0,08; 0,24; 0,51	$55 \pm 0,3$	0,05; 0,08; 0,51

Примечание:  $\bar{X} \pm S\bar{x}$  – среднее арифметическое  $\pm$  ошибка среднего

Таким образом, приспособление растений к агроклиматическим условиям обеспечивается слаженной работой окислительно-восстановительной системы. Показано, что адаптивные перестройки зависят от генетических особенностей сорта, почвенно-климатических и погодных условий выращивания.

Для оценки адаптивности генотипов сои была разработана система на основе визуальных, морфобиометрических, биохимических и статистических методов (рис. 63).

Морфобиометрическая диагностика осуществлялась с учетом следующих показателей: высота растений, количество бобов, количество семян, масса семян с растения.

Биохимические методы включали определение активности антиоксидантных ферментов (пероксидазы и каталазы), низкомолекулярных компонентов антиоксидантной системы (аскорбиновой кислоты, каротина, токоферола). Эффективным приемом биохимической оценки адаптивности генотипов является сравнительный анализ множественных молекулярных форм данных ферментов.

Для количественной оценки эффектов взаимодействия «генотип-среда» использовали статистические методы с определением пластичности, стабильности, гомеостатичности, вариабельности по урожайности и показателям качества семян.

Надежным методом оценки изучаемых генотипов с целью отбора образцов для адаптивного растениеводства и в качестве исходного материала для селекционных программ является их параллельное испытание в нескольких экологических пунктах, существенно различающихся по условиям среды. Поэтому одним из способов оценки адаптивных свойств генотипов сои является испытание их в контрастных агроклиматических условиях с применением статистических и биохимических методов.

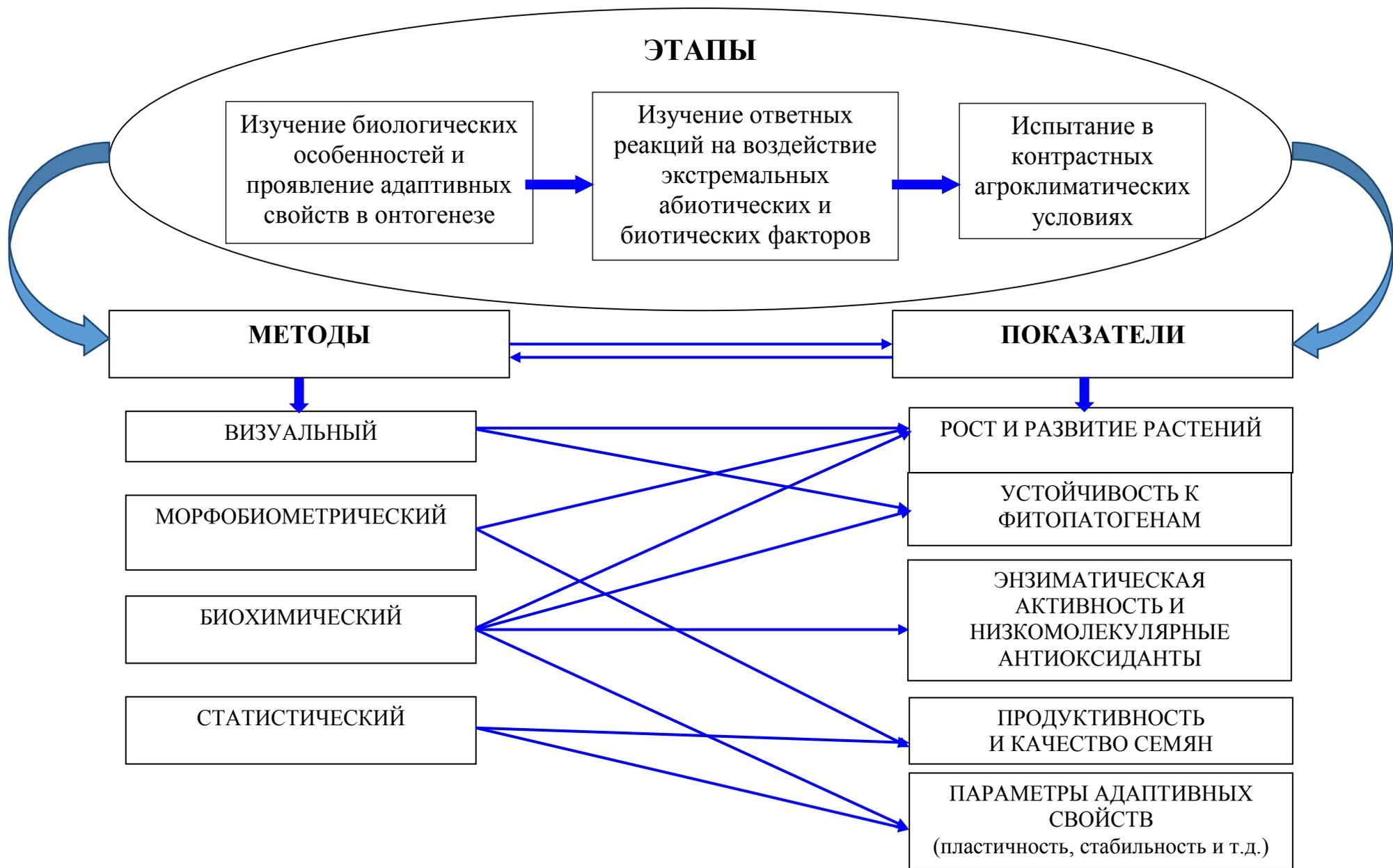


Рисунок 63 – Схема оценки адаптивности генотипов сои

## **Выводы по шестой главе**

1. Экстремальные погодно-климатические условия в большей степени оказали негативное влияние на урожайность сои, чем на биохимический состав её семян. Коэффициенты вариации семенной продуктивности при выращивании сои в разных агроклиматических условиях составили 49,4-65,0%, белка – 5,3-9,3%, жира – от 7,5-7,9%.

2. Урожайность сои положительно коррелировала с суммой активных температур в Амурской области и Хабаровском крае и отрицательно – в Саратовской и Оренбургской областях, в данных областях отмечена положительная связь с суммой осадков. Выявлена положительная зависимость между содержанием белка и среднесуточной температурой воздуха за период «цветение-созревание» в Амурской области и Хабаровском крае, отрицательная – в Саратовской и Оренбургской областях. Содержание жира положительно коррелировало с осадками в Саратовской и Оренбургской областях и отрицательно с температурой воздуха в Амурской области и Хабаровском крае.

3. Выявленные изменения активности пероксидазы и каталазы, количества множественных молекулярных форм, перестройка электрофоретических спектров в семенах сои отражает направление адаптивных реакций и обеспечивает устойчивость растений к неблагоприятным условиям внешней среды.

4. Не выявлено определенной закономерности во взаимосвязи между урожайностью, показателями качества семян и активностью пероксидазы и каталазы при выращивании в контрастных условиях. Взаимосвязи активности ферментов с некоторыми параметрами адаптивности позволяет заключить, что пероксидаза в большей степени связана с адаптивностью сортов сои по признаку «урожайность», чем каталаза.

## **ГЛАВА 7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ СОРТОВ СОИ В РАЗЛИЧНЫХ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Соя является пластичной культурой, однако её распространение носит ярко выраженный зональный характер. По мере расширения производства сои в Российской Федерации (с юга на север и с востока на запад) и достижения биологических границ степень риска экономически оправданного выращивания возрастает. Однако именно высокая устойчивость сорта к воздействию абиотических и биотических неблагоприятных факторов оказывается лучшим гарантом рентабельного возделывания сои.

Сорт является биологической основой технологии возделывания, на его долю приходится около 50% прироста урожайности культуры. Для возделывания сельскохозяйственных культур используют, прежде всего, сорта, отличающиеся высокой потенциальной продуктивностью, обладающие комплексной устойчивостью к вредным биотическим и абиотическим факторам внешней среды и дающие высококачественное зерно. Им принадлежит очень важная роль в освоении энерго- и ресурсосберегающих технологий возделывания (Синеговский М.О., 2016).

Под потенциальной продуктивностью сортов понимают их способность с наибольшей эффективностью использовать благоприятные факторы внешней среды, обусловленные естественными условиями или применением техногенных средств. Сорт считается тем более продуктивным, чем более он способен отвечать последовательным увеличением величины и качества урожая на последовательное улучшение условий выращивания. При этом урожайность отражает и интегрирует действие всех факторов, оказывающих влияние на растения во время их развития, а её величина всегда является результатом компромисса между продуктивностью и устойчивостью.

В растениеводстве устойчивость сорта оценивается с точки зрения не только биологической возможности, но и экономической оправданности его возделывания. При этом границы экономически оправданного и биологически возможного возделывания не совпадают, а сама экономическая оправданность определяется возможностями сорта обеспечить устойчивый рост величины и качества урожая, стоимостью мероприятий по улучшению условий внешней среды и полученной за их счет чистой прибылью (Жученко А.А., 2001). В связи с этим необходимо обязательное проведение экономической оценки эффективности выращивания сои в различных агроклиматических условиях.

В рамках диссертационного исследования нами было проведено ранжирование сортов сои по экологической пластичности, возделываемых в Амурской, Саратовской и Оренбургской областях и Хабаровском крае в течение четырех лет. Высокой пластичностью обладали сорта Лидия ( $b_i = 1,16$ ) и Гармония ( $b_i = 1,09$ ), низкой реакцией на изменение условий выращивания характеризовались сорта Соната ( $b_i = 0,88$ ) и Соер 4 ( $b_i = 0,96$ ). Для экономической оценки выращивания сортов сои в разных регионах Российской Федерации использовали показатели экономической эффективности, основными из которых являются: урожайность, себестоимость продукции, прибыль от реализации продукции и уровень рентабельности.

Себестоимость продукции зависит от суммарных затрат, связанных с использованием основных фондов, сырья, материалов, топлива и энергии, труда, а также других затрат, необходимых для производства продукции. На формирование себестоимости сои основное влияние оказывают два фактора – урожайность и затраты на 1 гектар посевной площади. От уровня сформировавшейся себестоимости 1 тонны произведенной сои зависит сумма будущей прибыли, получаемой от реализации продукции (Синеговский М.О., 2016).

Урожайность – это комплексный показатель, который оказывает влияние на эффективность и финансовое состояние отрасли. В России урожайность сои низкая и неустойчивая, но наметилась тенденция её роста (Светашова Л.А., Климкина Е.В., Климкин А.Ф., 2015). Высокая эффективность сельскохозяйственного производства возможна только при наличии экономически обоснованной системы цен и ценообразования. Возмещение затрат производства, а также прибыль предприятия во многом зависят от цены реализации.

Для расчета экономической эффективности цена реализации всех сортов сои была усреднена, также были усреднены производственные затраты по регионам. Данные сравнительного анализа экономической эффективности выращивания сои в различных агроклиматических условиях для отдельных сортов приведены в таблице 77.

Таблица 77 – Экономическая эффективность выращивания сортов сои в различных агроклиматических условиях

Показатели	Сорта сои			
	Лидия	Соната	Соер 4	Гармония
1	2	3	4	5
Амурская область				
Урожайность семян, ц/га	20,4	21,1	22,3	27,6
Производственные затраты, тыс. руб./га	18,90			
Себестоимость, тыс. руб./ц	0,93	0,90	0,85	0,68
Средняя цена реализации, тыс. руб./ц	1,98			
Прибыль (убыток) от реализации продукции, тыс. руб./ц	1,06	1,09	1,14	1,30
Рентабельность, %	114,1	121,4	134,0	189,7
Хабаровский край				
Урожайность семян, ц/га	21,3	20,0	20,2	18,7
Производственные затраты, тыс. руб./га	13,21			
Себестоимость, тыс. руб./ц	0,62	0,66	0,65	0,71
Средняя цена реализации, тыс. руб./ц	2,40			

## Продолжение таблицы 77

1	2	3	4	5
Прибыль (убыток) от реализации продукции, тыс. руб./ц	1,78	1,74	1,75	1,69
Рентабельность, %	287,1	263,4	267,1	239,8
Саратовская область				
Урожайность семян, ц/га	6,1	8,4	8,6	10,2
Производственные затраты, тыс. руб./га	17,85			
Себестоимость, тыс. руб./ц	2,93	2,12	2,08	1,75
Средняя цена реализации, тыс. руб./ц	1,95			
Прибыль (убыток) от реализации продукции, тыс. руб./ц	-0,97	-0,17	-0,12	0,20
Рентабельность, %	-33,2	-8,1	-5,9	11,6
Оренбургская область				
Урожайность семян, ц/га	5,8	8,0	7,4	7,7
Производственные затраты, тыс. руб./га	11,85			
Себестоимость, тыс. руб./ц	2,04	1,48	1,60	1,54
Средняя цена реализации, тыс. руб./ц	1,84			
Прибыль (убыток) от реализации продукции, руб./ц	-0,20	0,36	0,24	0,30
Рентабельность, %	-9,8	24,4	15,0	19,7

Производственные затраты на один гектар посевов сои по анализируемым сортам с учетом региональных особенностей колебались от 11,85 тыс. руб. (Оренбургская область) до 18,90 тыс. руб. (Амурская область). Исходя из объема материальных затрат и урожайности можно определить себестоимость одного центнера семян сои. Себестоимость одного центнера семян сои в Дальневосточном регионе в среднем в 2,2-3,0 раза ниже, чем в Оренбургской и Саратовской областях. Самый высокий уровень себестоимости отмечен у сорта Лидия (2,93 тыс. руб./ц) в Саратовской области, а самый низкий – у сорта Лидия (0,62 тыс. руб./ц) в Хабаровском крае.

Анализ экономической эффективности показал, что наиболее рентабельно выращивание сои в Хабаровском крае, за счет самой высокой цены за реализацию и более низких производственных затрат. При средней цене 2,40 тыс. руб./ц наибольшая прибыль была получена от реализации сои сорта Лидия – 1,78 тыс. руб./ц, рентабельность составила 287,1%.

Рентабельность производства сои в Амурской области также была высокой и составляла 114,1-189,7%. При средней цене 1,98 тыс. руб./ц наибольшая прибыль получена от реализации сорта сои Гармония – 1,30 тыс. руб./ц, рентабельность производства составила 189,7%. В Саратовской области производство сортов сои Лидия, Соната, Соер 4 оказалось не рентабельным и составило -33,2; -8,1; -5,9% соответственно. Рентабельным было производство только сои сорта Гармония – 11,6%. В Оренбургской области наибольшая прибыль получена при реализации сортов Соната (0,36 тыс. руб./ц) и Гармония (0,30 тыс. руб./ц), рентабельность выращивания которых составила 24,4 и 19,7% соответственно.

### **Выводы по седьмой главе**

1. По экономическим показателям, с учетом сложившейся цены реализации и затрат по уровню рентабельности первое место занимает – Хабаровский край – 264,3%, второе – Амурская область – 139,8%, третье место Оренбургская область – 19,7% и четвертое – Саратовская область – 11,6%.

2. Выращивание экологически пластичных сортов сои (Лидии или Гармонии) было более рентабельным и экономически выгодным с учетом погодно-климатических условий региона. Сорт Гармония имел положительную рентабельность при выращивании во всех исследуемых регионах.