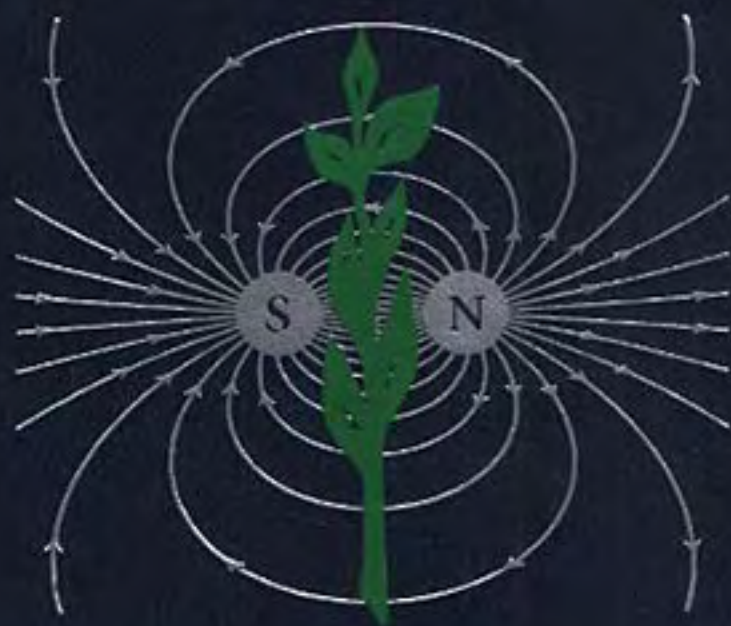


Ю. И. НОВИЦКИЙ    Г. В. НОВИЦКАЯ

---

# Действие постоянного магнитного поля на растения



НАУКА

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ  
им. К. А. ТИМИРЯЗЕВА

---

Ю. И. НОВИЦКИЙ    Г. В. НОВИЦКАЯ

# Действие постоянного магнитного поля на растения

Ответственный редактор  
член-корреспондент РАН  
Вл. В. КУЗНЕЦОВ



МОСКВА НАУКА 2016

УДК 58  
ББК 28.03  
Н73

Рецензенты:

доктор биологических наук *Ю.В. Балнокин*,  
доктор биологических наук *П.Ю. Воронин*,  
доктор биологических наук *Н.А. Белова*

**Новицкий Ю.И., Новицкая Г.В.**

Действие постоянного магнитного поля на растения / отв. ред. Вл.В. Кузнецов ;  
Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. – М. : Наука, 2016. – 352 с. –  
ISBN 978-5-02-039962-4 (в пер.).

Монография посвящена изучению действия постоянных магнитных полей (ПМП) на растения. Рассмотрены физические, физиологические и биохимические аспекты действия ПМП на биологические объекты. Описаны существующие на данный момент представления о механизмах действия ПМП на растения. Проведен критический анализ массива литературы, посвященной данной проблематике за последние 150 лет. В многолетних исследованиях авторов установлено действие слабого ПМП на содержание полярных липидов мембран хлоропластов митохондрий и цитоплазматической, на содержание сахаров, биомедиаторов – ацетилхолина и ацетилхолинэстеразы в листьях растений, на содержание основных катионов  $H^+$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ . Показано, что действие магнитного поля на растения реализуется на различных уровнях организации, определяя весь их жизненный цикл. Отдельная часть посвящена феномену магнитоориентационных типов, открытому первым автором и заключающемуся в наличии у корнеплодных растений одновидовой популяции двух основных магнитоориентационных типов – северо-южного (СЮ) и западно-восточного (ЗВ), плоскость ориентации корневых борозд которых проходит вдоль или поперек магнитного меридиана, с различающейся реактивностью и реакцией на ПМП.

Монография представляет интерес для физиологов и биохимиков растений, биофизиков, физиков, генетиков, ботаников, экологов, селекционеров, агрономов, представителей смежных профессий, а также для аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

ISBN 978-5-02-039962-4

© Новицкий Ю.И., Новицкая Г.В.,  
2016  
© Институт физиологии растений  
им. К.А. Тимирязева РАН, 2016  
© ФГУП Издательство «Наука»,  
редакционно-издательское  
оформление, 2016

## От редактора

Книга, которую вы держите в руках, обобщает полувековой труд Ю.И. Навицкого и его коллег в области магнитобиологии растений. Магнитобиология – это наука, изучающая ответ живых систем на действие магнитного поля. В настоящее время достигнут существенный прогресс в изучении реакции животных, в отличие от растений, на действие магнитного поля. В изучение феноменологии и механизмов ответа растений на слабое постоянное магнитное поле (ПМП) весомый вклад был внесен авторами данной монографии. В книге дается представление о физических аспектах действия ПМП на биологические объекты, излагаются общие представления об источниках магнитных полей, их характеристиках, способах измерения, методических особенностях и приемах изучения реакций растений на ПМП. Авторы критически проанализировали огромный объем научной литературы по данной проблеме и на этом основании изложили современные представления о механизмах действия ПМП на растения.

В монографии излагаются результаты собственных экспериментов авторов по изучению ответов разных видов растений на ПМП в рамках эволюционно-исторических значений изменения его напряженности на Земле, а также на совместное действие ПМП с переменным магнитным полем или другими физическими факторами. В работе широко использованы физиологические, биохимические, биофизические и цитологические методы и подходы.

Особый интерес вызывает открытие авторами различных магнитофизиологических типов растений, отличающихся друг от друга характером ориентации в магнитном поле, а также их физиологическими и биохимическими особенностями. Впервые продемонстрировано, что корректирующие факторы – температура и электромагнитное поле несветового диапазона – изменяют воздействие ПМП на растения на различных уровнях его организации: от изменения ионного баланса до протекания интегральных физиологических процессов (роста, дыхания, фотосинтеза, прорастания и др.). Впервые изучено влияние как слабого постоянного, так и переменного магнитных полей на морфологические показатели, определяемые в течение всего развития растений. Установлено, что магнитное поле тормозит прохождение всех стадий онтогенеза, замедляя формирование листьев, переход к стрелкованию, бутонизации, образованию стручков и полноценных семян, и приводит к значительному изменению структуры урожая. Большое внимание авторы уделяют результатам исследований по влиянию слабого (постоянного и переменного) магнитного поля на состав и содержание липидов на ранних этапах развития растений. Установлено, что слабое ПМП изменяет состав и содержание полярных липидов – галакто- и фосфолипидов. Совокупность полученных данных позволила сделать существенный вывод о том, что изменение состава и содержания липидов мембран растительной клетки на действие слабого ПМП характерно для всех растительных организмов. Впервые показано, что действие слабого ПМП приводит не только к изменению содержания липидов мембран растительной клетки, но и к изменению содержания сахаров, биомедиаторов – ацетилхолина и ацетилхолинэстеразы, а также состава и содержания основных катионов.

На основании анализа представленных в книге результатов следует очень важное общебиологическое заключение, согласно которому действие магнитного поля реализуется на разных уровнях организации растения и на различных этапах его жизненного цикла.

Данная книга является своего рода пособием для всех, кого интересует жизнь растения в условиях измененного магнитного поля. Она будет полезна не только для молодых исследователей, но и для уже состоявшихся ученых, которые хотят познакомиться с состоянием дел в области магнитобиологии растений.

*Вл. В. Кузнецов*

# Оглавление

От редактора . . . . .	3
Предисловие . . . . .	5
Введение . . . . .	8
 Часть I. Состояние вопроса о биологическом действии ПМП на растения . . . . .	 11
Глава 1. Физические аспекты действия постоянного магнитного поля на биологические объекты . . . . .	13
1.1. Основные физические принципы действия ПМП на живые объекты . . . . .	13
1.2. Роль органогенных ферромагнитных включений в восприятии ПМП . . . . .	20
1.3. О магнитных свойствах биологических объектов растительного происхождения . . . . .	21
1.4. Об опосредованном через воду действии ПМП на растения . . . . .	23
Глава 2. Физиологические аспекты действия постоянного магнитного поля на растения . . . . .	25
2.1. О различной природе ориентационных эффектов в ПМП . . . . .	25
2.2. О действии ПМП на движение цитоплазмы и хлоропластов . . . . .	26
2.3. О действии постоянного магнитного поля на дыхание . . . . .	27
2.4. О действии ПМП на фотосинтетический аппарат . . . . .	31
2.5. Действие ПМП на интегральный рост . . . . .	33
2.6. Влияние ПМП на процесс клеточного деления . . . . .	38
2.7. Влияние ПМП на процесс растяжения и дифференциации клеток и тканей . . . . .	41
2.8. Действие и последствие ПМП на радиационный эффект у растений . . . . .	43
2.9. О мутационном действии ПМП . . . . .	45
2.10. О влиянии ПМП на вирусную инфекцию . . . . .	46
2.11. Действие ПМП на детерминацию полов у растений . . . . .	47
2.12. О последствии предпосевной обработки семян ПМП . . . . .	47
Заключение . . . . .	50
 Часть II. Техника и методы исследования . . . . .	 55
Глава 3. Источники магнитных полей. Методы их генерирования и характеристики. Способы измерения магнитных величин . . . . .	57
3.1. Источники постоянного магнитного поля . . . . .	57
3.2. Источники питания электромагнитов, соленоидов, колец Гельмгольца . . . . .	64
3.3. Источники и способы получения переменного и электромагнитного поля. Средства контроля за их параметрами . . . . .	65
3.4. Средства измерения и способы контроля за параметрами постоянного магнитного поля . . . . .	65

	3.5. Указатели направления магнитного потока, его горизонтальной и вертикальной составляющих . . . . .	67
	3.6. Определение магнитной восприимчивости биологических объектов как способ характеристики их магнитных свойств . . . . .	67
Глава 4.	Общеметодические особенности и приемы исследования реакций растений на постоянное магнитное поле . . . . .	71
	4.1. Основные принципы анализа опытных данных . . . . .	71
	4.2. Статистические приемы и методы, использованные в монографии . . . . .	72
	4.3. Объекты исследования . . . . .	72
	4.4. Места и время проведения опытов . . . . .	73
	4.5. Методы и условия выращивания растений . . . . .	73
	4.6. Методы анализа растительного материала . . . . .	75
Часть III. Реакция на постоянное магнитное поле в зависимости от его физических параметров . . . . .		77
Глава 5.	Реакция на величину напряженности однородного магнитного поля . . . . .	79
	5.1. Ростовая реакция прорастающих семян овса Голозерного и бобов Кузьминские на однородное магнитное поле низкой напряженности . . . . .	79
	5.2. Ростовая реакция корней бобов Кузьминские на однородное магнитное поле “средней” напряженности . . . . .	83
	5.3. Общая оценка связи между напряженностью поля и ростом корня. Графическое выражение зависимости . . . . .	84
	5.4. Действие однородного МП различной напряженности на поглощение кислорода прорастающими семенами . . . . .	85
	5.5. Влияние однородного МП на выделение углекислоты в процессе дыхания темновых проростков ржи Онохойская . . . . .	86
	5.6. Действие слабого ПМП на содержание основных катионов в листьях и корнях лука . . . . .	88
	5.7. Влияние слабого ПМП на содержание основных катионов в органах периллы Красной . . . . .	90
	Заключение . . . . .	91
Глава 6.	Реакция на направление однородного магнитного поля . . . . .	93
	6.1. Необходимые допущения . . . . .	93
	6.2. Реакция на направление “по” и “против” хода силовых линий однородного МП . . . . .	94
	6.2.1. Ростовая реакция прорастающих семян, ориентированных в искусственном МП . . . . .	94
	6.2.2. Ростовая реакция прорастающих семян на ориентацию в МПЗ . . . . .	96
	6.3. Реакция на ориентацию зародышем прорастающих семян относительно горизонтальной составляющей МПЗ в условиях полевого опыта . . . . .	97
	6.3.1. Выживаемость при различной ориентации . . . . .	98
	6.3.2. Быстрота появления третьего листа при различной ориентации . . . . .	99
	6.3.3. Влияние ориентации на соотношение кустящихся/некустящихся растений . . . . .	101
	6.3.4. Влияние ориентации семян при посеве на высоту растений в фазе выхода в трубку . . . . .	102
	6.3.5. Влияние ориентации семян при посеве на урожай и его структуру . . . . .	103

6.4.	Реакция на направление вертикального поля . . . . .	106
6.5.	Влияние направления однородного магнитного поля на поглощение кислорода прорастающими семенами ржи и бобов . . . . .	107
	Заключение . . . . .	108
Глава 7.	Исследование действия неоднородного магнитного поля . . . . .	110
7.1.	Общие замечания . . . . .	110
7.2.	Ростовая реакция прорастающих семян люпина, огурцов и ржи на неоднородное МП кольцевых магнитов . . . . .	111
7.3.	Потребление кислорода прорастающими семенами ржи Гибридная-2 в неоднородном МП . . . . .	114
7.4.	Колеоптильные тесты в неоднородном МП магнитной площадки . . . . .	114
7.5.	Другие опыты, подтверждающие основные тенденции действия неоднородного МП, выявленные с помощью магнитной площадки . . . . .	118
	Заключение . . . . .	120
Часть IV. Физиологические аспекты действия постоянного магнитного поля . . . . .		125
	Общие замечания . . . . .	127
Глава 8.	Действие и последствие постоянного магнитного поля на покоящиеся семена злаков . . . . .	128
8.1.	Физиологические особенности обмена у сухих семян с позиций возможного воздействия на них ПМП . . . . .	128
8.2.	Магнитная восприимчивость сухих семян в связи с их жизнеспособностью . . . . .	130
8.3.	Эффект последствия на прорастающих семенах ржи и ячменя обработки сухих семян однородным МП . . . . .	132
8.4.	“Весовая” реакция сухих семян на ПМП . . . . .	134
8.5.	Действие МП на сухие семена в связи с их водоудерживающей способностью . . . . .	137
	Заключение . . . . .	139
Глава 9.	Рост и развитие растений в постоянном магнитном поле . . . . .	141
9.1.	Сезонный характер ростовой реакции на магнитное поле Земли (МПЗ) и реакции хлоропластов на ПМП . . . . .	141
9.2.	Зависимость ростовой реакции на ПМП от энантиоморфной принадлежности испытуемого объекта и от сорта . . . . .	143
9.3.	Ростовая реакция прорастающих ячменя и бобов на МП в естественных условиях освещения . . . . .	145
9.4.	Ростовая реакция колеоптильных тестов ржи на ПМП . . . . .	146
9.5.	Действие ПМП на рост и развитие <i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) . . . . .	153
	Заключение . . . . .	156
Часть V. Совместное действие постоянного магнитного поля и некоторых других физических факторов . . . . .		159
Глава 10.	Совместное действие постоянного магнитного поля и температуры . . . . .	161
10.1.	Общие замечания . . . . .	161
10.2.	О действии и последствии температуры на прорастающие семена на фоне МП . . . . .	162
10.3.	Защитное действие ПМП на сухие семена против высокой температуры . . . . .	164

10.4.	Зависимость водоотдачи семенами ржи от наличия зародыша и жизнеспособности семени . . . . .	166
10.5.	Извлекаемость белка различных фракций из зерновок ржи после тепловой обработки в МП и контроле . . . . .	167
10.6.	Аминокислотный состав водно-белковой фракции при различном температурном и магнитно-температурном воздействии . .	168
10.7.	Демонстрация защитного действия ПМП против высокой температуры в модельной системе водно-растворимой фракции белка эндосперма . . . . .	170
10.8.	Исследование других физических параметров водно-белковой вытяжки, подвергнутой действию ПМП при повышенной температуре . . . . .	173
	Заключение . . . . .	175
Глава 11.	Корректирующее влияние ЭМП на действие ПМП на растения . .	176
11.1.	Общие замечания . . . . .	176
11.2.	Изменение ионного баланса в культивационной среде coleoptильных тестов под влиянием ПМП . . . . .	177
11.3.	Протонный баланс в среде набухания семян в связи с вариацией электромагнитных условий . . . . .	179
11.4.	Значение экранирования в магнитобиологических исследованиях на растениях . . . . .	182
11.5.	Некоторые особенности прорастания в темноте ржи Онохойская в условиях сочетанного действия ПМП и ЭМП . . . . .	184
	Заключение . . . . .	187
Часть VI.	Магнитоориентационные-магнитофизиологические типы у растений . . . . .	189
Глава 12.	Влияние постоянного магнитного поля на физиолого-биохимические показатели магнитоориентационных типов растений . . . . .	191
12.1.	История вопроса. Основные понятия . . . . .	191
12.2.	Неравномерность распределения МОТ по секторным направлениям у редиса . . . . .	193
12.3.	Распространенность неравномерного распределения плоскости ориентации корневых борозд в выборке по странам света у других сортов и видов корнеплодных растений и его обусловленность направлением магнитного меридиана в естественных условиях МПЗ . . . . .	195
12.4.	Влияние направления горизонтальной составляющей $H$ в условиях искусственного МП на характер распределения МОТ у редиса Дунганский . . . . .	198
12.5.	Независимость характера распределения особей по МОТ от величины напряженности горизонтального ПМП . . . . .	199
12.6.	Морфологические и морфометрические различия между растениями основных магнитоориентационных типов у свеклы и редиса . . . . .	200
12.7.	Формирование направления ориентации корневых борозд и их соотношение с ориентацией черешков семядолей у редиса . . .	201
12.8.	Фотосинтез и дыхание у различных МОТ редиса . . . . .	204
12.9.	Динамика сахаронакопления у растений свеклы различных МОТ в естественных условиях . . . . .	206
12.10.	Общие соображения по поводу природы различной динамичности МОТ . . . . .	208
12.11.	Содержание ацетилхолина и холина в корнеплодах разноориентирующихся особей редиса . . . . .	209

12.12.	Влияние вымачивания семян редиса в растворах холина и ацетилхолина на характер распределения особей различных МОТ в выборке . . . . .	211
12.13.	Изменения в содержании сахаров в корнеплоде редиса под влиянием холиновой обработки его семян в водном растворе . . . . .	212
12.14.	Ацетилхолинэстеразная активность у растений редиса различных МОТ . . . . .	213
12.15.	О липидном составе листьев редиса основных МОТ . . . . .	214
12.16.	Проявление относительной несовместимости растений редиса различных МОТ в культуре изолированных тканей . . . . .	216
12.17.	Содержание некоторых минеральных элементов в корнеплодах и листьях редиса основных МОТ . . . . .	217
	Заключение . . . . .	220
Часть VII. Действие слабого постоянного магнитного поля на состав и содержание липидов в различных растениях . . . . .		223
Глава 13.	Изменение состава и содержания липидов в листьях магнитоориентационных типов редиса под влиянием слабого постоянного магнитного поля . . . . .	225
13.1.	Основные признаки различий северо-южного (СЮ) и западно-восточного (ЗВ) магнитоориентационных типов . . . . .	225
13.2.	Сезонное влияние (весна) ПМП на состав и содержание липидов листьев магнитоориентационных типов редиса . . . . .	226
13.3.	Сезонное влияние (осень) ПМП на состав и содержание липидов листьев магнитоориентационных типов редиса . . . . .	228
13.4.	Влияние ПМП на состав и содержание жирных кислот липидов листьев СЮ и ЗВ МОТ редиса . . . . .	230
	Заключение . . . . .	232
Глава 14.	Влияние слабого постоянного магнитного поля на состав и содержание липидов в проростках редиса при различных температурах . . . . .	234
14.1.	Влияние низкой температуры на содержание липидов у холодостойких растений . . . . .	234
14.2.	Содержание липидов в покоящихся семенах редиса . . . . .	236
14.3.	Действие ПМП на состав и содержание липидов 5-дневных проростков редиса, выращенных на свету и в темноте при 20 °С . . . . .	237
14.4.	Действие ПМП на состав и содержание липидов 5-дневных проростков редиса, выращенных на свету и в темноте при 10 °С . . . . .	239
14.5.	Действие ПМП на состав и относительное содержание жирных кислот липидов проростков, выращенных на свету и в темноте при различных температурах . . . . .	242
	Заключение . . . . .	244
Глава 15.	Состав и содержание липидов в семенах основных магнитоориентационных типов редиса, выросшего в слабом постоянном магнитном поле . . . . .	246
15.1.	Влияние ПМП на состав и содержание липидов семян СЮ и ЗВ МОТ редиса, выращенного в разные годы . . . . .	246
15.2.	Влияние ПМП на содержание жирных кислот липидов семян СЮ и ЗВ МОТ редиса, выращенного в разные годы . . . . .	250
	Заключение . . . . .	253
Глава 16.	Влияние слабого постоянного магнитного поля на состав и содержание липидов листьев лука разного возраста . . . . .	254
16.1.	Чувствительность растений лука к действию слабого постоянного магнитного поля . . . . .	254

16.2.	Возрастные изменения липидов в листьях лука при действии слабого постоянного магнитного поля . . . . .	256
16.3.	Влияние ПМП на содержание жирных кислот липидов листьев лука разного возраста . . . . .	260
	Закключение . . . . .	263
Глава 17.	Влияние слабого постоянного магнитного поля на состав и содержание липидов в листьях салата . . . . .	264
17.1.	Морфологические и физиологические особенности растений салата в восприятии постоянного магнитного поля . . . . .	264
17.2.	Действие слабого постоянного магнитного поля на содержание жирных кислот липидов в листьях салата . . . . .	267
	Закключение . . . . .	269
Глава 18.	Влияние слабого постоянного магнитного поля на состав и содержание липидов в листьях периллы . . . . .	270
18.1.	Действие ПМП на состав и содержание полярных липидов листьев короткодневного растения периллы . . . . .	270
18.2.	Действие ПМП на содержание жирных кислот липидов листьев периллы . . . . .	273
18.3.	Сравнение действия ПМП на состав и содержание липидов короткодневного растения периллы и длиннодневного растения редиса . . . . .	275
	Закключение . . . . .	276
Глава 19.	Действие слабого постоянного магнитного поля на перекисное окисление липидов проростков редиса . . . . .	277
19.1.	Перекисное окисление липидов — теоретически обоснованный и экспериментально подтвержденный механизм действия магнитного поля . . . . .	277
19.2.	Действие ПМП на содержание МДА в 5-дневных проростках редиса при различной интенсивности света . . . . .	278
19.3.	Влияние ПМП на содержание МДА в процессе прорастания семян редиса на свету и в темноте . . . . .	280
	Закключение . . . . .	282
Часть VIII. Действие слабого постоянного магнитного поля на морфологические показатели растений . . . . .		283
Глава 20.	Рост пера лука в слабом постоянном магнитном поле . . . . .	285
20.1.	Ростовая реакция различных растений на действие постоянного магнитного поля . . . . .	285
20.2.	Кинетика роста четвертого пера лука Арзамасский и первого пера лука Рязанский в контроле и ПМП . . . . .	287
20.3.	Влияние ПМП на содержание суммарной фракции хлорофилла, белка и сахаров в перьях лука Арзамасский и Рязанский . . . . .	290
	Закключение . . . . .	293
Глава 21.	Развитие вегетативных и генеративных органов у магнитоориентационных типов редиса в слабом постоянном магнитном поле . . . . .	294
21.1.	Действие постоянного магнитного поля на морфологические показатели растений редиса . . . . .	294
21.2.	Влияние постоянного магнитного поля на количество и массу семян, образовавшихся в стручках редиса различных МОТ . . . . .	298
Глава .	Основные итоги и перспективные направления исследований . . . . .	301
	Закключение. Основные итоги и перспективные направления исследований . . . . .	301
	Литература . . . . .	309

**Novitskii Yu.I., Novitskaya G.V.**

Action of permanent magnetic field on plants / Ed by V.I. V. Kuznetsov ; Timiriasev Institute of plant physiology RAS. – Moscow : Nauka, 2016. – 352 p. – ISBN 978-5-02-039962-4.

The monograph is devoted to the action of permanent magnetic fields (PMF) on plants. Physical, physiological and biochemical aspects of PMF on biological systems are considered. Modern conceptions embracing the mechanisms of PMF action on plants are described. The large body of literature covering the papers written during past 150 years is critically considered. Long term research activity of the authors dealt with the effects of weak PMF on the contents of polar lipids in the membranes of chloroplasts, mitochondria and cytoplasm, on the levels of sugars, some biomediators – acetylcholine and acetylcholine esterase in plant leaves, on the concentrations of  $H^+$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  and  $Fe^{3+}$  cations in the plants organs. It was shown that PMF action is realized at various organization levels, thus determining plant ontogeny. Some chapters are devoted to magneto-oriented types discovered by the first author, i.e. to the appearance in the roots of two magneto-oriented types – North-South and West-East, in which the plane of root grooves is directed along the magnetic meridian or across the magnetic meridian; they differ in response to PMF.

The monograph is of interest for wide range of researchers in the fields of plant physiology and biochemistry, biophysics, physics, genetics, botany, ecology, agronomy and for postgraduates and students as well.

Научное издание

**Новицкий Юрий Иванович,  
Новицкая Галина Васильевна**

## **ДЕЙСТВИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАСТЕНИЯ**

*Утверждено к печати  
Ученым советом Института физиологии растений  
им. К.А. Тимирязева Российской академии наук*

Редактор Л.С. Аюпова. Художник В.Ю. Яковлев  
Корректоры А.Б. Васильев, Р.В. Молоканова, Е.Л. Сысоева  
Оригинал-макет выполнен в ИФР РАН Ю.А. Сердюковым

Подписано к печати 09.11.2016. Формат 70 × 100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Таймс.  
Печать офсетная. Усл.печ.л. 28,6. Усл.кр.-отт. 28,6. Уч.-изд.л. 34,0.  
Тип. зак.

ФГУП Издательство «Наука» 117997, Москва, Профсоюзная ул., 90

E-mail: [secret@naukaran.com](mailto:secret@naukaran.com)  
[www.naukaran.com](http://www.naukaran.com)

ФГУП Издательство «Наука» (Типография «Наука»)  
121099, Москва, Шубинский пер., 6

ISBN 978-5-02-039962-4



9 785020 399624