

УДК 573.6: 537.86

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА РАСТЕНИЯ

Богатина Н.И.¹, Шейкина Н.В.²

¹*Физико-технический институт низких температур НАН Украины, Харьков, Украина*

²*Национальный фармацевтический университет, Харьков, Украина*

E-mail: n_bogatina@rambler.ru

Представлен обзор литературных данных о влиянии магнитных полей различной интенсивности на растения.

Ключевые слова: геомагнитное поле, гипомагнитное поле, слабые магнитные поля.

Влияние геомагнитного поля на растения

Очень вероятно, что ГМП уже существовало до происхождения жизни на Земле, поэтому вся эволюция происходила в его присутствии. В связи с этим не вызывает удивления то, что растения, как и другие биообъекты, приспособились к его величине и могут его чувствовать. Это доказывают результаты экспериментов, приведенные ниже.

В рамках настоящих исследований основной интерес представляют факты взаимодействия растений с постоянной составляющей ГМП (геомагнитного поля земли).

Влияние постоянной составляющей ГМП на рост растений проявляется в обнаруженном явлении магнитотропизма и ориентационного эффекта в ГМП и в слабых однородных ПМП (постоянных магнитных полях).

Тропизмами называют физиологическую реакцию изгибающегося растущего органа под действием какого-либо фактора [1]. Анализ всех типов магнитотропизмов провел Новицкий [2]. Он различает собственно три вида магнитотропических реакций и одну – смешанного типа.

Первый тип магнитотропизма обнаружил Одас [3]. Изучая направление роста корешков кресс-салата и овса в сильно неоднородном магнитном поле на клиноостате, он обнаружил, что корни изгибаются в сторону уменьшения градиента поля. Позже это явление было подтверждено и объяснено в работах [4, 5].

Второй тип магнитотропизма – реакция на полюса ПМП или ГМП был обнаружен Крыловым и Таракановой [6, 7]. Он заключается в том, что при свободной ориентации семян злаковых растений (кукурузы, пшеницы и т.д.) в горизонтальной плоскости при их прорастании в зависимости от видовых особенностей семян наблюдается изгиб первичных корешков проростков преимущественно в сторону южного магнитного полюса. Но этот эффект пока никем не был подтвержден.

Питман [8] зафиксировал третий вид магнитотропизма. Он заключается в том, что корни озимой пшеницы и ряда других растений распределяются вдоль или поперек горизонтальной составляющей ГМП или искусственного МП при свободном посеве в почву. Опыты производились в различных районах Канады с отличающимся магнитным склонением. Таков же характер ориентации дикого овса, выросшего случайно в разных районах Северной Америки. Они также отклоняются за горизонтальной составляющей ГМП от направления север-юг [9]. Здесь необходимо отметить, что ежедневное вращение сосудов, в которых проращивались растения, на 90° в горизонтальной плоскости приводило к беспорядочному направлению роста корней. По мнению автора, это подтверждает ориентирующую роль ГМП [9].

Эксперименты Питмана с применением радиоактивных элементов показали, что поступление меченого фосфора из почвы было больше на северной и южной сторонах, чем на восточной и западной сторонах [8]. Однако не у всех растений корни ориентировались параллельно горизонтальной составляющей ГМП. Например, корни ржи такой ориентации обнаружить не удалось [9].

Шрайбер [10], выращивая сахарную свеклу, обратил внимание на то, что ее корневые борозды имеют преимущественную ориентацию СЗ-ЮИ. В этих опытах предполагается, что ориентирующим фактором является ГМП. Этот факт удалось доказать Ю.И. Новицкому и М.П. Травкину [11] в экспериментах, которые были проведены в районе Курской магнитной аномалии, где склонение МП в некоторых местах достигает значительных величин (до 90°). Показано, что значительная часть корнеплодов имеет северно-южное направление корневых борозд (44.1 %), а около трети корнеплодов (28.7 %) имеет западно-восточное направление борозд, 8.5% – северо-восточное и до 10% – с неопределенной ориентацией корневых борозд.

Деревенко и Молотковский [12] обнаружили смешанный тип магнитотропизма. Они выращивали кукурузу на открытой площадке в глиняных сосудах. При этом было замечено, что корневая система ориентируется в основном вдоль магнитного меридиана, причем масса корневой системы в северной сторон была больше, чем в южной. Характер распределения корней не изменяется и в случае, когда были приняты меры, чтобы температура северной и южной сторон сосудов была одинаковой. Несмотря на это Ю.И. Новицкий [13] предполагает, что это все-таки проявление магнитотемпературной реакции корневой системы.

Магнитотропизм колеоптиля также был предметом исследования ученых. Так, Чуваев [14] наблюдал тропическую реакцию колеоптилей пшеницы и чечевицы в ГМП в зависимости от ориентации их зародышей относительно стран света, где проводится эксперимент. Оказалось, что угол, образованный колеоптилем зерновки, корешок которой обращен к южному географическому полюсу, с вертикальной осью, примерно в 1.5 раза меньше угла зерновки с корешком, обращенным к северу. Автор объясняет это тем, что у обеих зерновок северные стороны колеоптилей росли быстрее южных, что в случае ориентации зародышем к югу приводит к замедлению выпрямления проростка, а в случае ориентации к северу приводит к более быстрому выпрямлению. Эффект еще более выражен при ориентации зародышем к западу и востоку. Чуваев связывает это явление с влиянием ГМП и силы Кориолиса [15], обусловленной вращением Земли.

Под ориентационными эффектами мы понимаем, во-первых, реакцию биологического объекта на принудительную ориентацию его относительно полюсов искусственного МП или ГМП; во-вторых, ориентацию биологических объектов благодаря взаимодействию внешнего ПМП и его собственного МП.

Опыты в полевых и лабораторных условиях с принудительной ориентацией семян в горизонтальной плоскости зародышем относительно стран света или полюсов искусственного МП проводились многими исследователями [16, 17]. Эти работы в нашей стране были начаты А.В.Крыловым и Г.А. Таракановой [6]. Они установили, что при посадке семян в искусственном ПМП или ГМП рост проростков происходит более энергично в случае северной ориентации зародыша, чем при ориентации зародыша к южному магнитному полюсу.

Ориентационный эффект также наблюдал Питман [17]. Семена пшеницы, ячменя, овса, ржи и льна, ориентированные вдоль силовых линий искусственного МП или ГМП, прорастали раньше и росли интенсивнее в первые 48 часов, чем при поперечной ориентации.

Однако в работах [18-20] получены отрицательные результаты как о влиянии ГМП, так и о наличии ориентационного эффекта. По мнению М.П. Травкина [21]. В этих работах не учитывались результаты П.П. Чуваева [15], который показал, что эффект ориентации зависит от широты местности, где проводятся эксперименты. Широта определяет под каким углом силовые линии ГМП входят в семя. Здесь также необходимо учитывать силу Кориолиса, однако ее действие на растения пока не удалось доказать.

Возможность ориентации биологических объектов во внешних ПМП подтверждается многими исследователями.

Примером такой ориентации можно рассматривать ориентацию в водной суспензии хлоропластов табака, шпината в ПМП, происходящую за счет взаимодействия между внешним ПМП и собственным МП хлоропластов, определяемым их структурой организации и внутренними физиологическими процессами.

В.А. Аброськин [22, 23].сообщил, что им установлена определенная связь между ориентацией проростков конопли в ГМП и сексоализацией этого растения. Якобы ориентация семян зародышем к северу способствует формированию женского растения, а к югу – мужского. Однако В.И. Новицкий [24].провел статистическую обработку данных этой работы и сделал вывод о том, что они недостоверны и требуют подтверждения.

На необходимость учитывать симметрию зерновки при изучении ориентационного эффекта указывал Ю.Г. Сулима [16]. При южной ориентации зародышей L, D, S – зерновок их колеоптили были более длинными, чем при противоположной ориентации (L, D, S – левые, правые и симметричные типы зерновок).

Влияние гипомангнитных полей на растения

Для получения гипо-МП в рабочем объеме с растениями обычно используют метод компенсации ГМП с помощью колец Гельмгольца или Беренбека и метод экранирования ГМП с помощью ферромагнитных экранов.

Необходимо отметить, что, несмотря на то, что существует различие в эффектах при компенсации ГМП и экранировании, не все авторы обзоров по магнитобиологии придерживаются их раздельного изложения. Это имеет место, например, в [25]. При описании характеристик поля ограничиваются лишь указанием величины МП в рабочем объеме, не приводя данных об его однородности, магнитных шумах. В связи с этим рассмотрим сначала данные, полученные методом компенсации ГМП, а затем – путем экранирования с помощью ферромагнитных экранов.

Исследований растений в условиях скомпенсированного ГМП проведено немного, но они очень важны для понимания роли ГМП в жизни растений.

Дубров [26-28] – один из первых начал изучать растения в условиях компенсации ГМП до уровня ± 90 нТл, с помощью колец Баренбека. Он наблюдал нарушения суточной ритмики выделения органических веществ корнями проростков ячменя по сравнению с контрольными растениями, находящимися в ГМП.

В ГМП, скомпенсированном с помощью катушки с пятью витками до уровня $2.8 \cdot 10^2$ нТл (измерено магнитометром) у растений одуванчика в полевых экспериментах соцветия открывались и закрывались с замедлением, а после длительного воздействия они увядали и погибали [29]. К сожалению, не были установлены значения пороговых КМП, выше которых этот эффект не наблюдался..

Лебедев и др. [30] исследовали рост ячменя сорта «Носовский» в гипо-МП с индукцией 10 нТл (измерено с помощью вращающейся индукционной катушки). Ток через кольца Гельмгольца пропускаться от аккумуляторной батареи. Показано, что и сырой, и сухой вес растений, развивающихся в ГМП в течение 3 недель, значительно превосходит (на 12-40%) соответствующие показатели для растений, выросших в гипо-МП. В этом же поле проращивали семена гороха «Черниговский» [31]. При этом наблюдалась задержка прорастания семян по сравнению с семенами, находившимися в ГМП.

Не все растительные объекты реагируют на компенсацию постоянной составляющей ГМП. Чуваев с сотрудниками [32]. Исследовали влияние гипо-МП различных зон колец Гельмгольца в области магнитной индукции 50-100 нТл на рост хлореллы и энглеллы в течение 5 недель (2 пассажа). Полученный материал изучали с помощью оптического микроскопа. Существенных отличий в скорости роста и морфологической структуре клеток между опытными и контрольными образцами, выращенными в ГМП, обнаружено не было. в этих опытах кольца Гельмгольца не компенсировали ПемП.

Таким образом, растения обладают высокой чувствительностью к ГМП. Однако нижнее значение ПМП, начиная с которого растение начинает чувствовать ПМП, не был определен в этих работах. Кроме того, во время этих экспериментов не компенсировалось ПемП ни в контроле, ни в опыте. Более того, оно не контролировалось. Этот факт может привести к существенному искажению результатов.

До 1978 года литературных сведений о влиянии гипо-МП ферромагнитных экранов на биологические объекты, и в частности, на растения не существовало. Однако переменную составляющую магнитного поля ряд авторов все же пытался исключить как действующий фактор. Для этого использовали экраны из алюминия [33], использовали также экраны из непроводящего материала, например,

винипласта [34]. В этом случае контроль отличается от опыта не только величиной индуктивности ПМП, но и величиной индуктивности ПеМП, т.к. коэффициенты экранирования экранов, выполненных из различных материалов, для перечисленных полей могут существенно отличаться друг от друга [35]. Кроме того, ферромагнитные экраны экранируют еще и СЭП (статическое электрическое поле) атмосферы Земли и другие электрические поля антропогенного происхождения.

Известно [36, 37], что различные экраны в разной степени ослабляют и другие физические поля, такие, как акустические, радиационные и др.

Во всех работах, где исследуется влияние экранирования растений с помощью ферромагнитных экранов исследуется действие экранирования растений, по крайней мере, от ЭП (электрического поля) и МП (магнитного поля). Однако большим недостатком большинства этих работ является то, что в них не приводятся данные о величинах индукции ПеМП (переменного магнитного поля) в лаборатории в месте установки экранов, а также в их рабочем объеме. В работе [38] не приводится даже индукция гипо-МП. В некоторых работах [39] приводятся расчетные значения коэффициента ослабления МП экранов, но они обычно значительно отличаются от реальных коэффициентов. По всей видимости, это связано с отсутствием измерительных средств с достаточной чувствительностью.

Одна из наиболее интересных начальных работ – это исследования влияния гипо-МП на рост растений, выполненная Чуваевым [40, 41]. Он проводил эксперименты как в кольцах Гельмгольца, так и в пермалловых камерах. Однако контрольные образцы в обоих опытах помещались в ГМП. Величина гипо-МП в пермалловых камерах измерялась с помощью феррозондового магнитометра и была равна ~ 10 нТл. В этих условиях проращивались в течение 5-7 суток семена ржи и гречихи. Показано, что скорость их прорастания и рост не отличается от контроля в ГМП, хотя в гипо-МП зародышевые корешки были толще. Предполагается, что эффект обусловлен был задержкой в гипо-МП дифференциации тканей, а также сохранением более широкого, чем в ГМП, слоя первичной коры. Поверхность последней в гипо-МП сплошь была покрыта своеобразными опухолевыми образованиями. Чуваевым с соавторами [41] было также показано, что в гипо-МП пермаллового экрана с индукцией порядка 10 нТл исчезают различия в скорости прорастания семян, ориентированных на географический юг и север.

Экранирование ГМП с помощью экрана из железоникелевого сплава с высокой магнитной проницаемостью влияет на рост проростков белой горчицы [38]. К сожалению, в работе не указана величина индукции остаточного гипо-МП в экране.

В трехслойном пермалловом экране с расчетным коэффициентом ослабления МП равным 106 изучалось влияние длительного экранирования от ГМП сухих семян, принадлежащих к различным изоморфным группам [39]. Проращивание семян проводилось в нормальных условиях в течение 4 дней. Оказалось, что средний митотический индекс был выше у опытных проростков (2.8 % – в контроле, 2.99 % – в опыте, достоверность более 95%), а пики активности в опыте по сравнению с контролем были сдвинуты, но не указано в какую сторону и на сколько. Правые и левые формы семян в контроле, и еще большей степени в опыте,

отличались между собой по ритмике деления, но опять непонятно как. По уровню мутирования контрольные и опытные проростки достоверно не отличались.

В работе [42] исследовалась оптическая активность (свойство среды вращать плоскость поляризации проходящего через нее света по сравнению с падающим светом) листовых пластинок фасоли, огурцов, ячменя и герани, находившихся в течение суток в экранированном гипо-МП и в ГМП. Материал, из которого изготовлен экран, и величина магнитной индукции гипо-МП не приведены. Сообщается, что кривая суточного ритма суточной активности в контроле коррелировала с графиком, отражающим изменение В-составляющей ГМП. По приведенным данным экранировка растений искажала их суточный ритм оптической активности.

Таким образом, у экранированных от воздействия ГМП растений наблюдались разнообразное отклонения по отношению к контрольным, находящимся в ГМП. Однако они могут быть вызваны не только снижением ПМП в экране, но и одновременным экранированием других внешних физических полей, в первую очередь, ПеМП и электрического поля атмосферы Земли.

Влияние слабых ПМП на растения

ПМП условно называют слабыми, если значение их магнитной индукции не превышает значение постоянной составляющей ГМП (равной приблизительно 50 мкТл) более чем на 1-2 порядка [22].

До середины 70-х годов влияние слабых ПМП на рост растений было изучено недостаточно [24]. Исследовалось влияние как однородного, так и неоднородного МП. Нас будут интересовать, прежде всего, данные, полученные в слабых однородных ПМП.

Самое неприятное, что большинство из них выполнено на фоне неконтролируемых вариаций ГМП, поэтому в целом ряде работ вместо действия ПМП изучалось совместное действие ПМП и ПеМП. Не являются исключением и работы Ю.И. Новицкого с соавт. [44]. В них ПеМП и ГМП частично экранировалось, правда, не указано до каких остаточных величин магнитной индукции.

М.П. Травкин и Ю.И. Новицкий [45] изучали расходование сухого вещества при прорастании семян ржи «Онохойская» в однородном горизонтальном ПМП колец Гельмгольца с магнитной индукцией 1.85 мТл. Установлено, что до 72 часов опыта потеря сухого вещества в опытных вариантах приблизительно на 10 % ниже, чем в контрольных в ГМП. В дальнейшем вплоть до 120 часов происходит повышение расходования сухого вещества до 15.7 %.

Ю.И. Новицкий [2]. наблюдал достоверное увеличение коэффициента вариабельности прироста кончиков корней 3-4 дневных проростков ржи при включении однородного ПМП колец Гельмгольца обратного направления с магнитной индукцией 1.8 мкТл по сравнению с контролем в ГМП. Минимальная величина магнитной индукции, которая изменяет этот коэффициент, не определена.

Тараканова [21].исследовала влияние однородного ПМП колец Гельмгольца величиной 2 мТл на рост проростков конских бобов сорта «Кузьминские». Через 4 суток проращивания бобов на 0.7 %-ном агар-агаре при 25°C в темноте наблюдалась недостоверная тенденция в ускорении роста корневой системы. Однако, при более длительном воздействии ПМП (30 дней) эффект ускорения роста выражен более ярко.

Вертикальное неоднородное ПМП с величиной магнитной индукции 5.8 и 6.2 мТл (градиент поля не указан) ускоряет темпы роста трехдневных проростков ржи «Вятка», люпина «Немчиновского», кукурузы «Воронежская» и огурцов «Неросимые» [46]. В то же время при большей индукции МП (10мТл) не обнаружено его влияния на рост проростков ржи «Вятка» и «Гибридная». Действенность поля зависела от температуры, при которой происходит проращивание. Максимальное влияние оказывает МП при постановке опыта в оптимальных для каждой культуры температурных условиях. Установлено, что неоднородное МП с величиной магнитной индукции 5.8 и 6.2 мТл подавляет поглощение кислорода прорастающими семенами. Причем, наибольшее подавление происходит в первые сутки. В зонах роста стеблей и корней кукурузы и люпина содержание РНК в МП возрастает, а ДНК заметно не меняется. Вместе с тем увеличивается размер клеток зоны растяжения корня люпина на 18 %.

Неоднородное ПМП постоянного магнита с магнитной индукцией 5.8 и 6.2 мТл подавляет поглощение кислорода, особенно в первые сутки, в прорастающих семенах люпина, конских бобов, ржи, кукурузы, одновременно стимулируя рост проростков [46]. При одинаковом количестве израсходованного сухого вещества зерновки содержание сухого вещества проростка в единице длины снижалось по сравнению с контролем в ГМП. У растений, выращенных в таком МП, митотический индекс был выше, чем у контрольных.

Отмечается, что проявление действенности МП на растительные объекты определяется параметрами действующего поля (индукция и градиент), взаимным расположением биообъекта и магнитного потока [47, 48], внешними физическими условиями (температурой, ЭМ фоном) [13], длительностью экспозиции, физиологическим состоянием биообъекта [46, 49].

Рассмотрим теперь работы Н.И. Богатиной с соавт., связанные с влиянием слабых магнитных полей на биообъекты (порядка земного и ниже). Эти работы предшествовали работам по открытию влияния комбинированных магнитных полей (постоянного МП и коллинеарного ему переменного МП с магнитными индукциями порядка земных).

Этими авторами решение задачи по влиянию ПМП на растения была поставлена совершенно иначе, чем в предыдущих работах. В контроле и в опыте, которые проводили одновременно, внешние ПМП и ПеМП были устранены с помощью трехслойного пермаллового экрана до уровня 5-20 нТл, и в одном экране с помощью соленоида создавалось ПМП с магнитной индукцией, которую можно было менять от 0 до 1 мТл. Контрольные образцы всегда находились в ПМП 5-20 нТл. Такая постановка задачи позволила устранить неопределенность и недостаточную воспроизводимость результатов, т.к. контрольные образцы всегда находились в одних и тех же магнитных условиях.

К первой группе работ относятся работы [50, 51], в которых было достоверно показано, что магнитное поле с магнитной индукцией порядка 2 мкТл является пороговым для ростовой реакции корней и coleoptилей пшеницы. В работе [52] было показано, что зависимость гравитропической реакции корней кресс-салата от магнитной индукции носит также пороговый характер с порогом при значении магнитной индукции, равном 2-5 мкТл.

В работе [53] было показано, что ролью переменного магнитного поля, всегда сопровождающего постоянное магнитное поле в виде сопутствующего ему магнитного шума, нельзя пренебречь, т.к. при длительном эксперименте (порядка нескольких суток) магнитные шумы могут приводить к существенному искажению полученных результатов за счет $1/f$ шума. Там же экспериментально были измерены магнитные шумы постоянного магнитного поля, созданного искусственно с помощью тока в соленоиде. В более поздних работах Данилова с соавторами [54-57] было также показано, что на экспериментальные результаты может существенно влиять наличие переменного магнитного поля. В работах Данилова с соавт. это было естественное переменное магнитное поле Земли, что приводило к плохой воспроизводимости результатов у этих авторов.

В работах [58-60] Н.И. Богатиной с соавт. было показано, что экранирование ПМП приводит к существенному изменению скорости репродукции растительных клеток гороха. При этом уменьшается как скорость движения клеток по циклу, так и общее количество клеток, вступающих в цикл.

В работе [61] было показано, что влияние экранирования магнитного поля максимально при неблагоприятных условиях роста (пониженная температура, влажность, время года)

В работах [62, 63] было теоретически предсказано и экспериментально доказано, что биологические действия гравитационного, магнитного и электрического полей очень похожи. Там же было высказано предположение, что отсутствие одного из названных выше полей (в частности, гравитационного) можно заменить другим. Эти результаты были подтверждены в дальнейшем, как у нас, так и за рубежом [64, 65].

Наблюдению магнитотропизма в геомагнитном поле посвящены работы [66-68].

ВЫВОД

Магнитные поля различной интенсивности оказывают значительное влияние на рост и развитие разных видов растений.

Список литературы

1. Кефели В.И. Рост растений / Кефели В.И. – М.: Колос, 1973. – 120 с.
2. Новицкий Ю.И. Магнитные поля в жизни растений. Проблемы космической биологии / Ю.И. Новицкий // М.: Наука. – 1973. – Т. 18. – С.164–178.
3. Audus L.J. Magnitotropism. A new plant growth response / L.J. Audus // Nature. – 1960. – Vol. 185 (4707). – P. 132.
4. Пирузян Л.А. О магнитной упорядоченности биологических систем / Л.А. Пирузян, А.А. Кузнецов, В.М. Чижов // Изв. АН СССР. Сер. Биол. – 1980. – № 5. – С. 645–654.
5. Schwarzacher J.C. Further studies in magnitotropism / J.C. Schwarzacher, L.J. Audus // J. Exptl. Bot. – 1973. – Vol. 24, (79). – P. 459–474.
6. Крылов А.В. Явление магнитотропизма у растений и его природа / А.В. Крылов, Г.А. Тараканова // Физиология растений. – 1960. – Т. 7, № 2. – С. 191–197.
7. Крылов А.В. Магнитотропизм у растений / А.В. Крылов // Земля во Вселенной. – 1964. – С. 471–472.
8. Pittman U.J. Growth reaction and magnetotropism in roots of winter wheat (Kharkov 22 Mc) / U.J. Pittman // Canad. J. Plant Sci. – 1962. – Vol. 42. – P. 430–436.
9. Pittman U.J. Magnetism and Plant Growth. Effect on germination and only growth of cereal seeds / U.J. Pittman // Canad. J. Plant Sci. – 1963. – Vol. 43, № 4. – P. 513–518.

10. Shreiber K. Note on an unusual tropism of feeder roots in sugar beets and its possible effects in fertilizer response / K. Shreiber // *Canad. J. Plant Sci.* – 1958. – Vol. 38 (1). – P. 124–126.
11. Новицкий Ю.И. К вопросу об ориентации корней в геомагнитном поле / Ю.И. Новицкий, М.П. Травкин // *Материалы научно-методической конференции. Химия. Ботаника. Зоология.* – 1970. – С. 73–76.
12. Деревянко А.С. О возможном влиянии магнитного поля Земли на сексуализацию энантиоморфных: форм растений кукурузы / А.С. Деревянко, Г.Х. Молотовский // *Физиология растений.* – 1970. – Т. 7, № 6. – С. 1217 – 1222.
13. Новицкий Ю.И. Реакция растений на магнитные поля / Ю.И. Новицкий – М.: Наука, 1978. – С. 119–130.
14. Чуваев П.П. О влиянии ориентации семян по странам света на скорость их прорастания и характер роста проростков / П.П. Чуваев // *Физиология растений.* – 1967. – Т. 14, вып. 3. – С. 540–543.
15. Чуваев П.П. Влияние на фитообъекты комплекса геофизических полей / П.П. Чуваев // *Тезисы докладов II зонального симпозиума по бионике.* – Минск. – 1967. – С. 56–63.
16. Сулима Ю.Г. Биосимметрические и биоритмические явления и признаки у сельскохозяйственных растений. – Кишинев: АН Мол. ССР, 1970. – 148 с.
17. Pittman U.J. Biomagnetic responses in wild Kharkov 22 MC winter wheat / U.J. Pittman // *Canad. J. Plant Sci.* – 1967. – Vol. 41 (4). – P. 389.
18. Innomoratti M. Gli indic della germinazione (Riasunto) Inform / M. Innomoratti // *Bot. ital.* – 1972. – Vol. 4 (2). – P. 169.
19. Innomorati M. Mancansa di effeto di campi magnetici deboli sull'accrescimento delle plantulo di riticum / M. Innomorati, G.A. Bochlchio // *Giorn. Bot. ital.* – 1974. – Vol. 108 (1,2). – P. 27–53.
20. Innomorati M. Z'ipovesi dell effetto del campo geomagnetico e la variabilita tra le repetizioni in prove di germinazione ed accrescimento in Triticum / M. Innomorati, C.L. Grillini // *Giorn. Bot. ital.* – 1973. – Vol. 106 (6). – P. 301–338.
21. Травкин М.П. Влияние магнитных полей на природные популяции / М.П. Травкин // *Реакции биологических систем на магнитные поля.* – 1978. – С. 178–198.
22. Аброськин В.В. О связи ориентации прорастающих семян и развивающихся растений с их сексуализацией / В.В. Аброськин // *Физиология растений.* – 1968. – Т. 16, № 1. – С. 167–170.
23. Аброськин В.В. Об эффектах ориентации проростков огуречных растений в магнитном поле Земли / В.В. Аброськин, П.Г. Задонский // *Записки Воронежского сельхозинститута.* – 1968. – Т. 34. – С. 86–91.
24. Новицкий Ю.И. Параметрические и физиологические аспекты действия постоянного магнитного поля на растения: дис. ... доктора биол. наук / Ю.И. Новицкий. – М., 1985. – 339 с.
25. Копанев В.И. Влияние гипогеомагнитного поля на биологические объекты / В.И. Копанев, А.В. Шакула. – Л.: Наука, 1985. – 73 с.
26. Дубров А.П. Влияние гелиогеофизических факторов на проницаемость мембран и суточную ритмичность выделения органических веществ корнями растений / А.П. Дубров // *ДАН СССР.* – 1968. – Т. 187, № 6. – С. 1429–1431.
27. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь / Дубров А.П. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 176 с.
28. Дубров А.П. Влияние некоторых геофизических факторов и постоянного магнитного поля на экзогенную ритмичность физиологических процессов у растений / А.П. Дубров, Е.В. Булыгина // *Совещание по влиянию магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. Научн. совет по компл. проблеме «Кибернетика».* – 1966. – С. 29.
29. Novak J. Attempt at demonstrating an effect of weak magnetic field on *Taraxacum officinale* / J. Novak, I. Valek // *Biol. Plantarum (Praha).* – 1965. – Vol. 7 (6). – P. 469.
30. Рост ячменя в сверхслабом магнитном поле / С.И. Лебедев, П.И. Баранский, Л.Г. Литвиненко [и др.] // *Электронная обработка материалов.* – 1977. – № 3. – С. 73–77.
31. Шиян Л.Т. Исследование экологической значимости геомагнитного поля (на примере растений) / Л.Т. Шиян // *Научн. тр. Курского пед. ин-та.* – 1978. – Т. 191. – С. 82–83.
32. Чуваев П.П. Влияние слабых и сверхслабых магнитных полей на одноклеточные растения различных ботанических типов и классов / П.П. Чуваев, А.И. Арнаутова, Н.А. Крюков // *Тезисы докладов II зонального симпозиума по бионике* – 1967. – С. 107–108.
33. Halperin M.H. Very low magnetic field: biological effects and their implications for space exploration / M.H. Halperin, J.H. Van Dyke // *Airspace Med.* – 1966. – Vol. 37 (3). – P. 281–288.
34. Шакула А.В. Влияние гипогеомагнитной среды на развивающийся организм: дис. ... канд. мед. наук / А.В. Шакула. – Л., 1980. – 189 с.

35. Каден Г. Электромагнитные экраны в высокочастотной технике и технике электросвязи / Каден Г. – М.: Госэнергоиздат., 1957. – 327 с.
36. Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений: Справочник. 3-е изд., перераб. и доп. / Машкович В.П. – М.: Энергоатомиздат., 1982. – 296 с.
37. Рекомендации по расчету и проектированию звукоизолирующих ограждений машинного оборудования / НИИСФ. – М.: Стройиздат., 1986. – 56 с.
38. Edmiston J. Effect of the Exclusion of the Earth's Magnetic Field on the Germination and Growth (Sinapsis Alba L.) / J. Edmiston // *Biochem. Physiol. Pflanzen.* – 1975 (BPP). – Vol. 167. – P. 97–100.
39. Шрагер Л.Н. Цитогенетический эффект действия ослабленных магнитных полей на правые и левые изомеры лука / Л.Н. Шрагер // *Материалы III Всесоюзного симпозиума «Влияние магнитных полей на биологические объекты».* – 1975. – С. 194–196.
40. Чуваев П.П. Влияние сверхслабого постоянного магнитного поля на ткани корней проростков и на некоторые микроорганизмы / П.П. Чуваев // *Материалы II Всесоюзного совещания по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты.* – 1969. – С. 252–256.
41. Чуваев П.П. Влияние слабых и сверхслабых магнитных полей на семена и проростки высших растений / П.П. Чуваев, А.И. Арнаутова, Н.А. Крюков // *Тезисы докладов II зонального симпозиума по бионике.* – 1967. – С. 104–106.
42. Семьчкин В.А. Суточный биоритм оптической активности растительных организмов в условиях экрана и действия локального магнитного поля / В.А. Семьчкин, М.А. Голубева // *Материалы III Всесоюзного симпозиума «Влияние магнитных полей на биологические объекты».* – 1975. – С. 183.
43. Богатина Н.И. Асимметрия роста проростков пшеницы в связи с магнитотропизмом / Н.И. Богатина, В.М. Литвин, М.П. Травкин // *Флора и растительность среднерусской лесостепи: Межвузовский сборник научных трудов.* – 1984. – С. 117–125.
44. Новицкий Ю.И. Действие магнитного поля на сухие семена некоторых злаковых / Ю.И. Новицкий // *Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов.* – 1966. – С. 50–52.
45. Травкин М.П. Влияние слабого однородного магнитного поля на расходование сухого вещества при прорастании семян ржи Онохойсуая / М.П. Травкин, Ю.И. Новицкий // *Материалы III Всесоюзного симпозиума «Влияние магнитных полей на биологические объекты».* – 1975. – С. 187–188.
46. Некоторые физиологические и цитохимические изменения у прорастающих семян в постоянном магнитном поле. Влияние неоднородного магнитного поля низкой напряженности / В.Ю. Стрекова, Г.А. Тараканова, В.П. Прудникова [и др.] // *Физиология растений.* – 1965. – Т. 12, № 5. – С. 920–929.
47. Романи Г. Аппаратура для исследования биомагнитных полей (Обзор) / Г. Романи, С. Уильямсон, Л. Кауфман // *Приборы для научных исследований.* – 1982. – № 12. – С. 3–46.
48. Новицкий Ю.И. Исследование роста отрезков coleoptилей ржи в магнитных полях разной напряженности и градиента / Ю.И. Новицкий, Е.В. Тихомирова // *Материалы III Всесоюзного симпозиума «Влияние магнитных полей на биологические объекты».* – 1975. – С. 192–193.
49. Марченко И.С. Биополе лесных экосистем / Марченко И.С. – Брянск, 1978. – 128 с.
50. О существовании порога чувствительности проростков и корней пшеницы к величине магнитного поля / Н.И. Богатина, Б.И. Веркин, В.М. Кулабухов [и др.] // *ДАН УССР.* – 1979. – Серия Б. – № 7. – С. 548–556.
51. Определение порога чувствительности проростков и корней пшеницы к величине магнитного поля / Н.И. Богатина, Б.И. Веркин, В.М. Кулабухов [и др.] // *Физиология растений.* – 1979. – Т. 26, № 3. – С. 620–625.
52. Богатина Н.И. Изменения гравитропической реакции, вызванные постоянным магнитным полем / Н.И. Богатина, Н.В. Шейкина, Е.Л. Кордюм // *Біофізичний вісник.* – 2006. – № 17 (1). – С. 78–82.
53. Богатина Н.И. Зависимость реакции биологических объектов на магнитные поля от их шумов (полей), возможное влияние на процессы эволюции / Н.И. Богатина, В.М. Литвин В.М., М.П. Травкин // *Электронная обработка материалов.* – 1987. – № 4. – С. 64–69.
54. Влияние флуктуаций геомагнитного поля и его экранирования на ранние фазы развития высших растений / Р.Д. Говорун, В.И. Данилов, В.М. Фомичева [и др.] // *Биофизика.* – 1992. – Т. 37, № 4. – С. 738–744.

55. Фомичева В.М. Пролиферативная активность и клеточная репродукция в корневых меристемах гороха, чечевицы и льна в условиях экранирования геомагнитного поля / В.М. Фомичева, Р.Д. Говорун, В.И. Данилов // Биофизика. – 1992. – Т. 37, № 4. – С. 745–749.
56. Динамика синтеза РНК и белков в клетках корневой меристемы гороха, чечевицы и льна / В.М. Фомичева, В.А. Заславский, Р.Д. Говорун [и др.] // Биофизика. – 1992. – Т. 37, № 4. – С. 750–758.
57. Структурно-функциональная организация меристематических клеток корней гороха, чечевицы и льна в условиях экранирования геомагнитного поля / Н.А. Белявская, В.М. Фомичева, Р.Д. Говорун [и др.] // Биофизика. – 1992. – Т. 37, № 4. – С. 759–768.
58. Влияние магнитных полей низкой напряженности на репродукцию растительных клеток / В.М. Фомичева, Н.И. Богатина, Б.И. Веркин [и др.] // Космические исследования на Украине. – 1978. – № 12. – С. 58–62.
59. Фомичева В.М. Исследование кинетики репродукции меристематических клеток при уменьшении напряженности окружающего магнитного поля / В.М. Фомичева, Н.И. Богатина, Б.И. Веркин // Роль низших организмов в круговороте веществ в замкнутых экологических системах. – 1979. – С. 321–327.
60. Влияние слабых магнитных полей на скорость роста, сухую массу и скорость клеточной репродукции гороха / Н.И. Богатина, Б.И. Веркин, В.М. Литвин [и др.] // ДАН УССР. – 1979. – Серия Б. – № 6. – С. 460–463.
61. Богатина Н.И. Влияние магнитного поля на скорость роста проростков пшеницы Мироновская-808 / Н.И. Богатина, В.М. Литвин, М.П. Травкин // Электронная обработка материалов. – 1983. – № 2. – С. 80–83.
62. Богатина Н.И. Возможные механизмы действия магнитного, гравитационного и электрического полей на биологические объекты, аналогии в их действии / Н.И. Богатина, В.М. Литвин, М.П. Травкин // Электронная обработка материалов. – 1986. – № 1. – С. 64–70.
63. Bogatina N.I. Effect of weak gradient magnetic field on plants in microgravity / N.I. Bogatina, E.L. Kordyum // Space Sciences @ Technologies. – 2000. – Vol. 6 (4). – P. 113–118.
64. Кондрачук А.В. Высокоградиентные магнитные поля как способ моделирования воздействия гравитации на растения / А.В. Кондрачук, Н.А. Белявская // Косм. Наука и технология. – 2001. – № 5/6. – С. 100–101.
65. Influence of nonuniform magnetic fields on orientation of plant seedlings in microgravity conditions / G.S. Nechitailo, A.L. Mashinskya, A.A. Kuznetsov [et al.] // Advances in Space Research. – 2001. – Vol. 28 (4). – P. 639–643.
66. Богатина Н.И. Ориентация корней зерновок пшеницы в магнитном поле Земли, влияние собственного поля зерновки / Н.И. Богатина, В.М. Литвин, М.П. Травкин // Электронная обработка материалов. – 1986. – № 6. – С. 56–62.
67. Богатина Н.И. Ориентация корней пшеницы под действием геомагнитного поля / Н.И. Богатина, В.М. Литвин, М.П. Травкин // Биофизика. – 1986. – Т. 31, № 5. – С. 886–892.
68. Богатина Н.И. О собственном электромагнитном поле зерновок пшеницы / Н.И. Богатина, В.М. Литвин, М.П. Травкин // Биофизика. – 1989. – Т. 34, № 2. – С. 336–338.

Богатина Н.И. Вплив магнітних полів на рослини / Н.І. Богатина, Н.В. Шейкіна // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2010. – Т. 23 (62), № 4. – С. 45-55.

Представлено огляд літературних даних про вплив магнітних полів різної інтенсивності на рослини.

Ключові слова: геомагнітне поле, гіпомагнітне поле, слабкі магнітні поля.

Bogatina N.I. Influence of magnetic fields on plants / N.I. Bogatina, N.V. Sheykina // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2010. – Vol. 23 (62), No 4. – P. 45-55.

The literary review of the data about influence of magnetic fields of various intensity on plants is presented.

Keywords: geomagnetic field, hypomagnetic field, weak magnetic fields.

Поступила в редакцію 8.11.2010 г.