

дородия черноземов в системе агроценозов (на примере степной зоны Алтайского края): автореф. дис. ... д.с-х.н. / Г.Г. Морковкин. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2000. – 39 с.

6. Кленов Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири / Б.М. Кленов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 176 с.

7. Хмелев В.А. Лесовые черноземы Западной Сибири / В.А. Хмелев. – Новосибирск: Наука СО, 1989 – 201 с.

8. Танасиенко А.А. Эродированные черноземы юга Западной Сибири / А.А. Танасиенко. – Новосибирск: ВО Наука, 1992. – 151 с.

9. Чуков С.Н. Структурно-функциональные параметры органического вещества почв в условиях антропогенного воздействия / С.Н. Чуков. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. – 216 с.

10. Чуков С.Н. Структура и функции органического вещества лесостепных почв / С.Н. Чуков // Функции почв в биосферно-геосферных системах: матер. Междунар. симпозиума (г. Москва, 27-30 авг., 2001 г.). – М., 2001. – С. 140-141.

11. Морковкин Г.Г. Исследование фракционного состава гумуса черноземов выщелоченных луговой степи Алтайского края / Г.Г. Морковкин, М.Е. Иванова, С.Б. Тарасова // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. – Кн. 1. – С. 147-150.

12. Иванова М.Е. Изменение фракционного состава гумуса черноземов выщелоченных луговой степи Алтайского края

под влиянием длительного использования в составе пахотных угодий / М.Е. Иванова, Г.Г. Морковкин, С.Б. Тарасова, Д.А. Тайлашев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2006. – № 5 (25). – С. 17-21.

13. Иванова М.Е. Изменение фракционного состава гумуса черноземов выщелоченных луговой степи Алтайского края под влиянием длительного внесения органических удобрений / М.Е. Иванова, Г.Г. Морковкин, С.Б. Тарасова, Д.А. Тайлашев // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2007. – № 5 (173). – С. 13-17.

14. Иванова М.Е. Фракционный состав гумуса черноземов выщелоченных зоны умеренно-засушливой и колючей степи Алтайского края / М.Е. Иванова // Агрохимический вестник. – 2005. – № 1. – С. 8-10.

15. Пономарева В.В. Гумус и почвообразование / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова. – Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1980. – 222 с.

16. Иванова М.Е. Исследование процессов выноса  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  из верхних почвенных горизонтов черноземов выщелоченных луговой степи Алтайского края под влиянием распахивания / М.Е. Иванова, Г.Г. Морковкин, Д.А. Тайлашев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2007. – № 1 (27). – С. 13-15.

17. Дергачева М.И. Система гумусовых веществ почв: пространственные и временные аспекты / М.И. Дергачева. – Новосибирск: Наука, СО, 1989. – 110 с.



УДК 631.445.24.004.12(571.15)

Ю.В. Беховых

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ЛЕНТОЧНЫХ БОРОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ В ЗОНАХ ЗАСУШЛИВОЙ И СУХОЙ СТЕПИ

**Ключевые слова:** дерново-подзолистые почвы, физические и теплофизические свойства почв, зона сухой степи, зона засушливой степи, гранулометрический состав, плотность, плот-

ность твёрдой фазы, почвенно-гидрологические константы, почвенный профиль, теплоёмкость, теплопроводность, температуропроводность.

**Введение**

Дерново-подзолистые почвы составляют 3,9% почвенного покрова Алтайского края [1]. Сформированы они, в основном, под уникальными ленточными сосновыми борами, значение которых для региона трудно переоценить.

Дерново-подзолистые почвы в зонах сухой и засушливой степи являются атипичными, так как для их формирования требуется промывной водный режим. В ленточных борах промывной водный режим обеспечивает песчаный субстрат ложбин древнего стока. Лесная подстилка создаёт запас химических элементов, в частности кислот, без которых невозможен процесс подзолообразования. Таким образом, сосновые боры и дерново-подзолистые почвы, сформированные под ними, являются примером саморегулирующейся дополняющей друг друга экологической системы, находящейся в состоянии динамического равновесия. Однако любые внешние факторы, такие как антропогенное воздействие, лесные пожары, изменение климатических условий, могут привести к нарушению этого равновесия, что в критических условиях засуш-

ливой и сухой степи может поставить под вопрос факт существования ленточных боров в этом районе. В связи с этим изучение почвенных и экологических условий произрастания ленточных боров является актуальной задачей. Исследования физических и теплофизических свойств дерново-подзолистых почв позволяют обосновать и спрогнозировать мелиоративные мероприятия при планировании лесовосстановительных работ в условиях засушливой и сухой степи.

**Объект и методы исследований**

Исследования проводились в юго-западной части ленточных боров Алтайского края на территории Волчихинского лесхоза, расположенного в зоне засушливой степи и на территории Угловского лесничества Тополинского лесхоза, находящегося в зоне сухой степи (рис. 1).

Объектом исследований были дерново-подзолистые почвы ленточных боров.

Предметом исследований являлись физические и теплофизические свойства дерново-подзолистых почв.



Рис. 1. Карта-схема района исследований. Мониторинговые полигоны: 1 – Тополинский лесхоз; 2 – Волчихинский лесхоз

Морфологическое описание почвенных разрезов и определение общих физических и водных свойств почв были проведены И.Т. Трофимовым с использованием общепринятых в почвоведении методик [2].

Определение теплофизических свойств почв естественного сложения проводилось в лабораторных условиях с использованием метода плоского нагревателя [3].

Влажность определялась методом термостатной сушки [2].

### Результаты исследований

Почвы боровых песков, формирующиеся под сосновыми насаждениями, по комплексу признаков можно разделить на две группы [4]:

1) дерново-подзолистые песчано-супесчаные, образующиеся на возвышенных холмистых участках бора;

2) дерново-подзолистые оглеенные, развитые по понижениям мезорельефа в условиях постоянной связи с грунтовыми водами.

Типичный почвенный профиль дерново-подзолистой почвы ленточных боров в зоне засушливой степи (Волчихинский лесхоз) имеет следующую морфологию.

**Разрез 4/99.** Вершина увала. Разреженный осоково-лишайниковый бор.

Горизонт  $A_0$  0-3 см. Лесная подстилка из хвои и травянистой растительности.

Горизонт  $A_1$  3-12 см. Светло-серый, снизу осветленный, пронизан корнями, рыхлый, супесчаный.

Горизонт  $A_2$  12-25 см. Белесый, с обилием кремнеземистой присыпки, слабо выраженная плитовидно-комковатая структура, рыхлый, свежий, супесчаный.

Горизонт  $A_1'$  25-52 см. Серый, с включением углей от лесного пожара, сухой, рыхлый.

Горизонт  $A_1A_2$  52-59 см. Реликтовый, светлый, рыхлый, свежий, супесчаный.

Горизонт В 59-120 см. Буроватый за счёт оксидов железа, распадается на ореховатые отдельности, влажный супесчаный.

Горизонт ВС 120-180 см. Рыхлый, влажный, супесчаный.

Горизонт С ниже 180 см. Влажный желтоватый песок.

В межгрядном понижении сформированы почвы близкой морфологии. Однако по сравнению с почвами вершин увалов в низинных ярче выражен подзолистый процесс, горизонты А и В более влажные, имеются оксиды железа. В горизонте ВС отмечаются признаки оглеенности. Почвообразующая порода мокрая, оглеенная.

Типичный почвенный профиль дерново-подзолистой почвы ленточных боров в зоне сухой степи (Угловское лесничество Тополинский лесхоз) имеет следующую морфологию.

**Разрез 5/98.** Вершина увала. Заложен среди старовозрастного разреженного леса.

Горизонт  $A_0$  0-3 см. Лесная подстилка, преимущественно из хвои. Сверху свежая, в нижней части полуразложившаяся.

Горизонт  $A_1$  3-10 см. Светло-серый, с белесоватым оттенком, сильно пронизан корнями, влажный. Песчаный. Переход постепенный.

Горизонт  $A_1A_2$  10-25 см. Более темной окраски, намечается слабая плитовидность, влажный, песчаный. Повышенное содержание гумуса и накопление древесного угля от прошлых пожаров.

Горизонт  $A_2$  25-45 см. Светло-серый с белесоватым оттенком, отмечается плитовидность, но структурные отдельности легко распадаются на первичные механические элементы. Пронизан корнями деревьев. Влажный, песчаный. Переход заметный.

Горизонт В<sub>1</sub> 44-88 см. Окраска более темная за счёт иллювирированных оксидов железа и органоминеральных соединений, однако иллювиальный процесс выражен слабо. Влажный, песчаный, переход постепенный.

Горизонт ВС 88-110 см. Светло-серый, со следами иллювирирования оксидов железа и органоминеральных соединений. Переход слабо выражен.

Горизонт С ниже 110 см. Сырой песок светлой окраски.

В межгрядном понижении сформированы почвы близкой морфологии.

Приведенные описания свидетельствуют о том, что морфологические признаки дерново-подзолистых почв зон засушливой и сухой степи довольно схожи для соответствующих элементов мезорельефа. Некоторые различия наблюдаются в морфологии низинных участков. В почвах зоны засушливой степи по сравнению с почвами сухостепной зоны более заметно проявляется глеевый процесс в нижних почвенных горизонтах. Это легко объясняется более высоким количеством годовых осадков в зоне засушливой степи (350 мм) по сравнению с зоной сухой степи (110-250 мм) [5], что ведет к более интенсивному вымыванию илестых частиц из вышележащих горизонтов почвы в нижележащие. Свою роль в процессе оглеивания играет и уровень грунтовых вод, который в зоне засушливой степи выше к поверхности почвы, чем в сухостепной зоне [6].

В гранулометрическом составе борových почв засушливой степи преобладает песчаная фракция 0,25-0,05 мм. В борových почвах сухостепной зоны максимально представлена фракция крупного песка 1-0,25 мм (табл. 1).

Плотность исследованных почв лежит в пределах 1220-1590 кг/м<sup>3</sup>. Порозность почвенных слоёв постепенно уменьшается с глубиной, при этом показатели зоны засушливой степи выше соответствующих показателей сухостепной зоны на 3-10%. Различия плотности сложения и порозности (табл. 2) дерново-подзолистых почв зон засушливой и сухой степи можно объяснить различным характером растительности и особенностями гранулометрического состава.

Плотность твердой фазы изученных почв незначительно изменяется с глубиной от 2600 до 2700 кг/м<sup>3</sup>.

Особенности гранулометрического состава исследованных дерново-подзолистых почв определили значения почвенно-гидрологических констант данных почв (табл. 3).

Максимальная гигроскопичность (МГ) песчаных почв только в гумусовом слое

достигает 1,1-1,4% от массы сухой почвы. Малы по сравнению с почвами других типов значения влажности завядания (ВЗ), наименьшей влагоемкости (НВ) и полной влагоемкости (ПВ).

Дифференциация почвенного профиля дерново-подзолистых почв по физическим свойствам и гранулометрическому составу нашла отражение в распределении теплофизических характеристик по генетическим горизонтам (рис. 2).

При исследовании почвы в абсолютно сухом состоянии объемная теплоемкость оказывается наименьшей в верхнем гумусовом горизонте. Увеличение плотности с глубиной приводит к соответствующему изменению коэффициента теплоаккумуляции. В почве зоны засушливой степи эти изменения очень динамичны. Здесь коэффициент объемной теплоемкости на метровой глубине возрастает в 2,7 раза по сравнению с поверхностным слоем. Почвенный профиль зоны сухой степи по теплоемкости практически однородный, однако теплоемкость гумусового горизонта в нём в два раза превышает значение соответствующего коэффициента почвы зоны засушливой степи.

Таблица 1

*Гранулометрический состав дерново-подзолистых почв юго-западной части ленточных боров Алтайского края (числитель – зона засушливой степи р. 4/99, знаменатель – зона сухой степи р. 5/98)*

Глубина, см	Содержание фракций, %; размер, мм						
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	> 0,001	> 0,01
3-10	3,8	75,6	10,4	0,9	2,6	8,0	11,5
	75,13	18,95	1,08	1,32	0,20	3,32	4,84
15-20	5,1	77,7	7,9	0,8	2,1	6,0	8,9
	73,27	6,28	0,40	1,32	2,64	2,72	6,68
30-40	5,9	81,7	6,6	0,5	1,6	3,4	5,5
	81,94	13,98	0,32	0,01	0,47	3,28	3,75
50-60	5,6	84,5	5,0	0,8	1,0	2,8	4,6
	83,52	12,50	0,64	0,04	2,32	0,92	3,28
90-100	2,3	80,3	7,2	0,1	0,6	9,0	9,7
	78,96	18,11	0,20	1,92	0,52	0,28	2,72

Таблица 2

*Общие физические свойства дерново-подзолистых почв юго-западной части ленточных боров Алтайского края (числитель – зона засушливой степи р. 4/99, знаменатель – зона сухой степи р. 5/98)*

Глубина, см	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Плотность твердой фазы, кг/м <sup>3</sup>	Порозность, %
3-10	1220	2600	53,1
	1475	2610	43,5
15-25	1304	2600	49,8
	1490	2650	43,8
50-60	1370	2650	48,3
	1590	2700	41,1
90-100	1510	2700	44,1
	1580	2700	41,5

Таблица 3

Почвенно-гидрологические константы дерново-подзолистых почв юго-западной части ленточных боров Алтайского края (числитель – зона засушливой степи р. 4/99, знаменатель – зона сухой степи р. 5/98)

Глубина, см	МГ	ВЗ (1,34 МГ)	НВ	ПВ
	% от массы сухой почвы			
3-10	1,1	1,5	8,6	43,1
	1,4	1,8	5,6	30,0
50-60	0,3	0,4	4,0	35,3
	0,4	0,6	4,1	25,9
90-100	0,4	0,5	6,0	29,2
	0,4	0,5	4,0	26,2

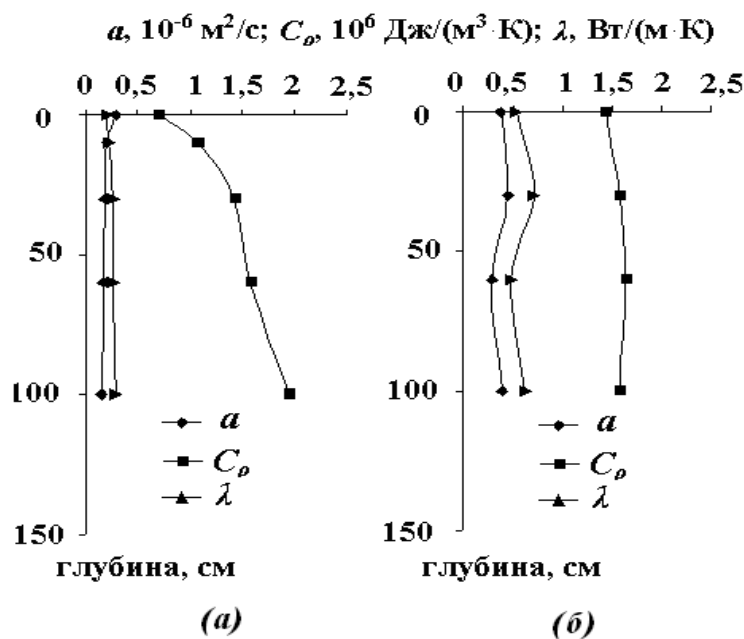


Рис. 2. Распределение теплопроводности (а), объёмной теплоёмкости ( $C_p$ ) и теплопроводности ( $\lambda$ ) в профиле дерново-подзолистой почвы юго-западной части ленточных боров Алтайского края (в абсолютно сухом состоянии): а – в зоне засушливой степи; б – в зоне сухой степи

Коэффициент температуропроводности при уплотнении почвенного профиля и снижении порозности уменьшается. Коэффициент теплопроводности дерново-подзолистой почвы имеет тенденцию к увеличению с глубиной в зоне засушливой степи и изменяется синхронно с коэффициентом температуропроводности в зоне сухой степи. Коэффициенты теплопередачи (теплопроводность, температуропроводность) дерново-подзолистой почвы сухостепной зоны имеют более высокие абсолютные значения по сравнению с соответствующими характеристиками почвы зоны засушливой степи.

В почвах наиболее динамичным показателем, определяющим комплекс теплофизических коэффициентов, является влага. В связи с этим нами в лабораторных условиях была смоделирована различная

степень почвенного увлажнения на образцах ненарушенной структуры и измерены теплофизические коэффициенты. Функциональный характер зависимостей теплофизических коэффициентов дерново-подзолистых почв в зонах засушливой и сухой степи от влажности схож с динамикой, выявленной для почв других климатических зон и типов [7].

Однако для сравнительной характеристики теплофизических свойств почв не столько важны изменения теплофизических коэффициентов в зависимости от абсолютных значений влажности сколько значения теплофизических коэффициентов при различных почвенно-гидрологических константах. Именно такие исследования позволяют определить схожесть или различие в теплофизическом состоянии сравниваемых почв.

Температуропроводность ( $a$ ), объёмная теплоёмкость ( $C_p$ ), теплопроводность ( $\lambda$ ) дерново-подзолистой почвы юго-западной части ленточных боров Алтайского края (числитель – зона засушливой степи р. 4/99, знаменатель – зона сухой степи р. 5/98)

Глубина, см	Значения теплофизических характеристик					
		0	МГ	ВЗ	НВ	ПВ
0-10	$a, 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	0,28 0,38	0,35 0,61	0,37 0,69	0,59 1,05	не опр. 0,95
	$C_p, 10^6$ Дж/(м <sup>3</sup> ·К)	0,71 1,44	0,81 1,50	0,82 1,51	1,00 1,75	не опр. 3,25
	$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	0,20 0,54	0,25 0,79	0,28 0,90	0,55 1,50	0,70 2,90
30-40	$a, 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	0,20 0,45	0,21 0,61	0,25 0,70	0,38 1,12	не опр. 0,66
	$C_p, 10^6$ Дж/(м <sup>3</sup> ·К)	1,25 1,57	1,27 1,61	1,28 1,70	1,48 1,85	не опр. 3,40
	$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	0,30 0,70	0,32 0,91	0,34 1,00	0,60 2,00	0,95 2,61
50-60	$a, 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	0,17 0,29	0,18 0,32	0,19 0,37	0,33 0,70	не опр. 0,28
	$C_p, 10^6$ Дж/(м <sup>3</sup> ·К)	1,57 1,64	1,62 1,70	1,63 1,71	1,74 1,91	не опр. 3,45
	$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	0,28 0,48	0,29 0,51	0,30 0,52	0,53 1,13	1,15 1,51
90-100	$a, 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	0,15 0,40	0,15 0,44	0,15 0,58	0,29 0,98	не опр. 0,60
	$C_p, 10^6$ Дж/(м <sup>3</sup> ·К)	1,95 1,58	1,99 1,65	2,00 1,68	2,30 1,86	не опр. 3,31
	$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	0,29 0,62	0,30 0,65	0,31 0,75	0,67 1,70	1,25 2,35

Результаты исследований теплофизических свойств дерново-подзолистых почв в зонах засушливой и сухой степи Алтайского края при увлажнении, соответствующем почвенно-гидрологическим константам, представлены в таблице 4.

Из анализа данных таблицы 4 следует, что коэффициенты теплопередачи дерново-подзолистой почвы сухостепной зоны имеют существенно (в 2-2,5 раза) более высокие абсолютные значения по сравнению с соответствующими характеристиками почвы зоны засушливой степи для всего почвенного профиля. Значения коэффициента теплоаккумуляции (объёмной теплоёмкости) имеют заметные различия только для верхнего гумусового горизонта. В слое 0-10 см объёмная теплоёмкость почвы зоны засушливой степи меньше объёмной теплоёмкости зоны сухой степи почти в два раза при одних и тех же почвенно-гидрологических постоянных.

#### Выводы

1. Морфологические признаки дерново-подзолистых почв в зонах засушливой и сухой степи довольно схожи для соответ-

ствующих элементов мезорельефа. Некоторые различия наблюдаются в морфологии низинных участков.

2. Исследованные почвы имеют легкий гранулометрический состав, невысокие значения плотности и почвенно-гидрологических постоянных относительно почв других типов.

3. Данные позволяют охарактеризовать дерново-подзолистые почвы сухостепной зоны как более «тёплые» по сравнению с соответствующими почвами зоны засушливой степи. При одинаковых условиях они будут быстрее прогреваться, но и более быстро остывать. Промерзание дерново-подзолистых почв сухостепной зоны при одинаковых климатических условиях и высоте снежного покрова тоже возможно более глубокое, чем в зоне засушливой степи. Однако оттаивание этих почв также будет происходить более быстро.

4. Относительно высокие значения теплофизических коэффициентов дерново-подзолистых почв сухостепной зоны будут способствовать более интенсивному испарению дефицитной влаги, что приводит к выводу о необходимости разработки вла-

госберегающих мелиоративных мероприятий при планировании лесовосстановительных работ в ленточных борах данной климатической зоны.

5. В качестве краткосрочной влаго- и теплосберегающей мелиорации при лесопосадках на дерново-подзолистых почвах сухостепной зоны возможно мульчирование почвы соломой, опилками или стружками, однако вопрос требует более детального изучения, т.к. применение данных материалов может привести к изменению химических свойств почвы.

6. В качестве долгосрочной влаго- и теплосберегающей мелиорации при лесопосадках на дерново-подзолистых почвах сухостепной зоны хорошие результаты может дать предварительное шелюгование [6].

7. Проведение влаго- и теплосберегающих мелиоративных работ при лесопосадках на дерново-подзолистых почвах зоны засушливой степи, исходя из теплофизического состояния климатических и растительных условий также требует более детального изучения.

#### Библиографический список

1. Бурлакова Л.М. Почвы Алтайского края: учебное пособие / Л.М. Бурлакова,

Л.М. Татаринцев, В.А. Рассыпнов. – Барнаул, 1988. – 72 с.

2. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

3. Лунин А.И. Импульсный метод определения теплофизических характеристик влажных материалов: дис. ... канд. техн. наук / А.И. Лунин. – М., 1972. – 139 с.

4. Почвы Алтайского края. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 382 с.

5. Агроклиматический справочник по Алтайскому краю. – Л.: Гидрометиздат, 1957. – 167 с.

6. Заблоцкий В.И. Динамика экологических условий на гарях в сосновых лесах юго-востока Западной Сибири: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук / В.И. Заблоцкий. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. – 30 с.

7. Макарычев С.В. Теплофизические свойства дерново-подзолистых и серых лесных почв Алтайского края / С.В. Макарычев, Л.М. Татаринцев, Л.Н. Макарычева // Земледельно-оценочные проблемы и рациональное использование земли в Алтайском крае: сб. научн. тр. – Барнаул, 1986. – С. 150-159.



УДК 631.615.9

А.Н. Хмелева,  
А.Л. Верещагин

## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТОКСИЧНОСТЬ НИТРАТОВ СВИНЦА И КАДМИЯ ПРИ НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ СЕМЯН ЛЬНА-ДОЛГУНЦА

**Ключевые слова:** ультразвук, нитрат свинца, нитрат кадмия, тяжелые металлы, энергия прорастания, регуляторы роста растений, семена льна.

#### Введение

Тяжелые металлы и их соединения образуют значительную группу экотоксикантов, во многом определяющую антропогенное воздействие на экологическую структуру окружающей среды и на самого человека. В настоящее время недостаточно изучены механизмы накопления тяжелых металлов растениями [1, 2]. Вопросы ультразвукового воздействия на токсич-

ность сред, содержащих тяжелые металлы, в литературе не рассматривались.

Целью работы явилось изучение влияния совместного воздействия ультразвука и ингибиторов (солей свинца и кадмия) в широком диапазоне концентраций на ранних стадиях развития семян льна-долгунца.

#### Экспериментальная часть

Лабораторный опыт по определению энергии прорастания семян проводился на культуре льна-долгунца, сорт Томский-14. Семена обрабатывали растворами солей тяжелых металлов (нитратом свинца или нитратом кадмия) с концентрацией от 1 до  $10^{-14}$  М без или совместно с ультразву-