

В этот период наблюдается увеличение испарения с поверхности болота, а также транспирации растительностью. В результате наблюдается понижение уровней болотных вод и сокращение стока с болот. Наиболее важными являются изменения уровней болотных вод в период вегетации растительности. Характер изменений средних уровней болотных вод в многолетнем разрезе для различных микроландшафтов представлен в таблице 5.

Таблица 5  
Характеристики стояния уровней болотных вод в различных микроландшафтах, см от средней поверхности болота

Глубина	п. 2	п. 3	п. 4	п. 5
Минимальная	7	0	11	0
Максимальная	42	13	41	7
Средняя	24	8	29	3

Начиная с середины июня на р. Ключ наблюдаются отрицательные отметки уровней воды и практически полное прекращение стока.

#### Выводы

На основных типах болотного микроландшафта (рямы и грядово-мочажинный комплекс) запас воды в снеге примерно одинаков и может быть приравнен к лесу.

Наиболее неравномерное распределение снежного покрова отмечается в грядово-мочажинном комплексе. Коэффициенты вариации, характеризующие пространственную неравномерность распределения снегозапасов, составляют в лесах 0,10-0,15, сосново-сфагновых комплексах – 0,10-0,20, грядово-мочажинных и грядово-озерковых комплексах – 0,40-0,70.

Формирование первой волны половодья происходит вследствие более раннего таяния на открытых участках болота и полевых участках водосбора.

Вторая волна половодья является следствием начала оттаивания торфяной залежи

болотного массива и более позднего добегания талых и дождевых вод с грядово-мочажинных комплексов.

#### Библиографический список

1. Указания по производству снегомерных наблюдений на гидрометеорологических станциях и постах. – Л.: Гидрометеоздат, 1965. – 408 с.
2. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. – Л.: Гидрометеоздат, 1972. – Вып. 6. – Ч. II. – 226 с.
3. Бураков Д. А. Некоторые особенности залегания снежного покрова в условиях Васюганья // Вопросы географии Сибири. – 1966. – № 6.
4. Бураков Д. А., Петров А. И. Гидролого-математические модели в прогнозах речного стока сибирских рек // География и окружающая среда. – СПб.: Наука, 2003.
5. Лисс О. Л., Абрамова Л. И., Аветов Н. А., Березина Н. А., Инишева Л. И., Курнишкова Т. В., Слука З. А., Толпышева Т. Ю., Шведчикова Н. К. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. – Тула: Гриф и К°, 2001. – 584 с.
6. Васюганское болото (природные условия, структура и функционирование). – 2-е изд. / под ред. чл.-корр. Л. И. Инишевой. – Томск: ЦНТИ, 2003. – 212 с.
7. Петров А. И., Инишев Н. Г., Дубровская Л. И. Закономерности формирования снегозапасов на заболоченном водосборе в южно-таежной подзоне Западной Сибири // Вестн. Том. гос. ун-та. – 2012. – № 360. – С. 182-187.
8. Мишон В. М. Снежные ресурсы и местный сток: закономерности формирования и методы расчета. – Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 1988.
9. Иванов К. Е. Гидрология болот. – Л.: Гидрометеоздат, 1953. – 297 с.

Работа выполнялась при финансовой поддержке грантов РФФИ (12-05-31247-а и 12-05-00094-а) и Рособрнауки (5.1161.2011).



УДК 631.445.4:631.879.2:631.67

Н.И. Алешина,  
С.В. Макарычев,  
А.А. Томаровский

## ВЛИЯНИЕ КРУГЛОГODOVОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ И АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ

**Ключевые слова:** сточные воды, гумус, элементы питания, орошение, наморажи-

вание, плотность, гранулометрический состав, микроагрегаты, дисперсность.

Гумус является основной частью органического вещества почвы. В состав его входит большинство важнейших химических элементов, принимающих участие в питании растений. Чем богаче почва гумусом, тем выше ее потенциальное плодородие. Гумус также оказывает значительное влияние на тепловые, водно-воздушные и биологические свойства почвы, ее поглотительную способность. Высокая биогенность почвы способствует улучшению структуры и водно-воздушного режима, ее поглотительной способности.

Как показывают исследования, орошение сточными водами также весьма положительно сказывается на плодородии почв [1]. Сточные воды содержат также микроэлементы и ростовые вещества, которые повышают урожайность. Микроорганизмы и органическое вещество этих вод активизируют почвенную микрофлору, способствуют накоплению азота и превращению зольных элементов почвы в соединения, усваиваемые растениями. В результате систематического внесения органического вещества происходит качественное улучшение почвы, обеспечивающее повышение ее плодородия. По нашим наблюдениям [2, 3] в исходном состоянии черноземов на 1989 г. содержание гумуса в слое 0-20 см составляло 3,80%, в слое 0-60 см – 3,0%. Общего азота в слое 0-20 см было 0,19%, а в слое 0-60 см – 0,15%.

Анализируя результаты исследований, можно отметить, что в период за 1991-2000 гг. на орошаемом участке в слое почвы 0-20 см содержание гумуса колебалось от 4,10 (1991 г.) до 5,70% (2000 г.), в слое 0-60 см – от 3,0 (1991 г.) до 4,70% (2000 г.); общего азота, соответственно – от 0,21 (1991 г.) до 0,26% (1999 г.) и от 0,14 (1991 г.) до 0,19% (2000 г.). В 2000 г. на неорошаемой территории наибольшее содержание гумуса в слое 0-20 см составило 5,40%, в слое 0-60 см – 4,0% в 2000 г., общего азота в слое 0-20 см – 0,26%, в слое 0-60 см – 0,22%.

Анализ содержания подвижных форм элементов питания растений в черноземе показывает, что в исходном состоянии (1989 г.) обеспеченность подвижным фосфором оказалась равна 163,8 и 167,1 мг/кг, а обменным калием – 251,2 и 142,6 мг/кг.

По результатам основных агрохимических показателей почв за 2001 г. содержание гумуса в слое 0-20 см без орошения составило 4,9%, на варианте с вегетационными поливами – 6, на варианте с намораживанием – 5,1, а с круглогодичным использованием сточных вод – 5,2%. Реакция почвенной среды на всех вариантах опыта ней-

тральная. pH солевой вытяжки, соответственно, 6,0; 7,1; 6,7 и 6,8. Содержание валовых форм NPK в слое 0-60 см колебались в пределах: азот – 0,16-0,26%, фосфор – 0,17-0,20, калий – 1,70-2,02%.

Накопление подвижного фосфора в слое почвы 0-20 см составило в контроле без орошения 147 мг/кг, на варианте с вегетационными поливами – 143, с намораживанием – 128 мг/кг и с круглогодичным использованием – 130 мг/кг. В слое почвы 0-60 см – соответственно, 156, 84, 119 и 123 мг/кг. По этим показателям черноземы можно характеризовать как среднеобеспеченные.

Накопление обменного калия в слое 0-60 см достигло 226 мг/кг в контроле без орошения, 186 мг/кг на варианте с вегетационными поливами, 145 мг/кг с намораживанием, а с круглогодичным использованием – 154 мг/кг.

Кроме того, можно отметить, что на орошаемых участках образуется мощная корневая система многолетних трав. Это приводит к большему накоплению гумуса, чем на неорошаемом участке. Накопление общего азота, как и гумуса, происходит в пахотном горизонте и резко снижается с глубиной. Валовой фосфор по профилю практически не изменяется, что говорит о его относительно большом запасе в трудно усваиваемой форме для растений. Эта же закономерность прослеживается и для валового калия.

В 2002 г. содержание гумуса в слое почвы 0-20 см изменяется от 5,90% на варианте с вегетационными поливами до 5,70% на варианте с круглогодичным использованием и до 4,80% на контроле без орошения (рис. 1). Реакция почвенной среды нейтральная, pH солевой вытяжки, соответственно, 7,2; 7,0; 6,7 и 6,7. Валовое накопление NPK в слое 0-60 см изменяется в пределах: азот – 0,22-0,27%, фосфор – 0,2-0,21, калий – 1,60-2,0%. Накопление подвижного фосфора в слое 0-20 см варьирует от 153 мг/кг (вариант с вегетационными поливами) до 166 (вариант с намораживанием) и 135 мг/кг (варианты с круглогодичным использованием и без орошения). Поведение обменного калия в обыкновенных черноземах имеет несколько иные особенности по сравнению с подвижным фосфором. В частности, в почвах на варианте без орошения содержание калия в слое 0-20 см составило 329, в слое 0-60 см – 181 мг/кг, что характеризует данные почвы как высокообеспеченные. Орошение многолетних трав сточными водами приводит к заметному увеличению его как в слое почвы 0-20 см (до 376 мг/кг), так и в слое 0-60 см (198 мг/кг), что указывает на их высокую обеспеченность.

В 2003 г. содержание гумуса в слое почвы 0-20 см в контроле без орошения составило 5,0%, в слое 0-60 см – 3,78%. Внесение сточных вод привело к накоплению гумуса в слое почвы 0-20 см до 5,28% и в слое 0-60 см – до 4,09% (вариант с вегетационными поливами). Кроме того, до 4,95 и 3,59% на варианте с намораживанием и до 5,41 и 3,91% (с круглогодичным использованием). Накопление подвижного фосфора в слое почвы 0-20 см составило в контроле без орошения 139 мг/кг, на варианте с вегетационными поливами – 160, с намораживанием – 173 и с круглогодичным использованием – 142 мг/кг. В слое почвы 0-60 см, соответственно – 98, 111, 138 и 99 мг/кг. Уменьшение содержания подвижного фосфора в почве объясняется как выносом его с урожаем растений, так и низким содержанием обменного калия в слое 0-60 см соответствует высокообеспеченному классу (146, 166, 149 и 162 мг/кг).

Известно, что от гранулометрического состава почвы во многом зависят её физические, водные, химические, биологические, тепловые и другие свойства. Для определения влияния полива сточными водами на основные агрофизические свойства черноземов нами были определены плотность твердой фазы и плотность черноземов (табл. 1).

Результаты определения гранулометрического состава чернозема показывают, что по содержанию суммы фракций менее 0,01 мм в слое 0-100 см почвы по всем че-

тырем вариантам опыта он относится к среднесуглинистым (табл. 1). Следует обратить внимание на увеличение содержания иловатых и крупно-песчаных фракций почв при орошении их сточными водами. Количество агрегатов более 0,25 мм в слое почвы 0-30 см составило в контроле 0,14%, при орошении сточными водами в вегетационный период – 0,16, методом намораживания – 0,18 и при круглогодичном использовании – 0,21%. Количество агрегатов менее 0,001 мм в слое почвы 0-30 см, соответственно, оказалось равно 19,38; 22,09; 26,62 и 25,88%.

Орошение особенно заметно приводит к изменению микроагрегатного состава почвы. С характером микроструктуры связываются физические условия в почве, её водный, воздушный, тепловой, микробиологический, питательный режимы, следовательно, и условия жизни растений. Основная роль в структурообразовании принадлежит биологическим факторам – растительности и организмам, населяющим почву. Растительность механически уплотняет почву и разделяет её на комки и главным образом участвует в образовании гумуса.

Наиболее сильное оструктурирующее влияние на почву оказывает многолетняя травянистая растительность. Она обладает сильной разветвленной корневой системой, которая образует при разложении большое количество связанного с кальцием и железом гумуса, и там, где создаются благоприятные условия для развития растительности, формируются высокоструктурные почвы.

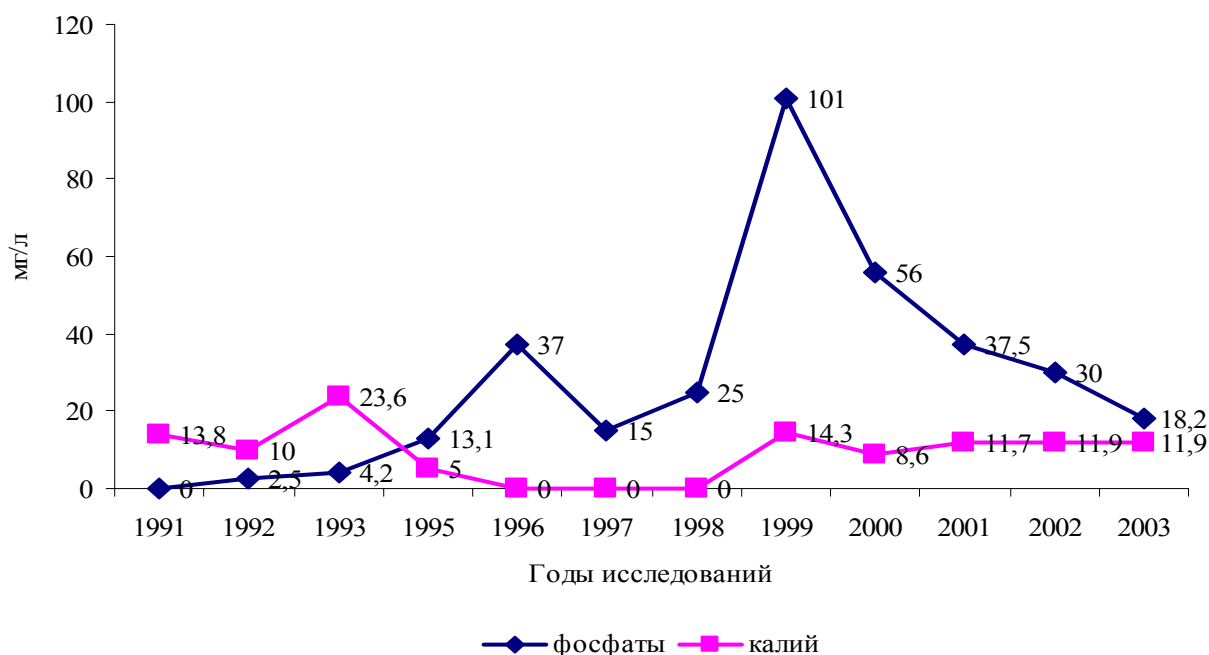


Рис. 1. Содержание элементов питания растений в сточных водах г. Алейска

Гранулометрический состав, плотность твердой фазы почвы и плотность черноземов обыкновенных

Интервал отбора	Содержание фракций, % от абс. сухой почвы		Плотность тверд. фазы почвы, г/см <sup>3</sup>	Плотность почвы, г/см <sup>3</sup>	Порозность, %
	менее 0,001 мм	∑ менее 0,01 мм			
Орошение сточными водами в вегетационный период					
0-10	20,58	36,58	2,60	1,35	48,10
10-20	20,88	37,20	2,65	1,33	49,80
20-30	24,80	40,04	2,49	1,28	48,60
30-40	24,16	39,72	2,58	1,35	47,70
40-50	25,28	43,00	2,48	1,43	42,30
50-60	28,20	45,52	2,55	1,46	42,70
60-70	26,96	44,68	2,63	1,48	43,70
70-80	28,44	41,64	2,55	1,48	42,00
80-90	24,88	37,64	2,68	1,41	47,40
90-100	28,04	38,92	2,69	1,41	47,60
Полив сточными водами методом намораживания во вневегетационный период					
0-10	24,57	40,21	2,61	1,38	47,10
10-20	28,82	43,52	2,59	1,37	47,10
20-30	26,48	44,77	2,48	1,33	46,40
30-40	22,12	39,21	2,45	1,28	47,80
40-50	24,69	40,21	2,36	1,31	44,50
50-60	23,29	38,25	2,51	1,46	41,90
60-70	28,90	41,79	2,53	1,47	41,90
70-80	30,29	41,98	2,49	1,38	44,60
80-90	34,34	45,42	2,48	1,32	46,80
90-100	32,34	44,91	2,61	1,39	46,80
Круглогодичное использование сточных вод					
0-10	25,05	39,65	2,63	1,37	47,90
10-20	26,30	39,58	2,65	1,36	48,70
20-30	26,30	39,31	2,63	1,34	49,05
30-40	25,32	39,12	2,55	1,30	49,02
40-50	25,65	36,42	2,51	1,46	41,90
50-60	28,11	39,84	2,52	1,38	45,30
60-70	35,98	49,86	2,68	1,39	48,10
70-80	35,12	45,89	2,71	1,44	46,90
80-90	30,04	42,49	2,69	1,42	47,20
90-100	23,93	37,70	2,65	1,41	46,80
Контроль без орошения					
0-10	19,76	36,36	2,56	1,28	50,00
10-20	15,76	35,20	2,43	1,28	48,30
20-30	22,64	39,88	2,53	1,25	50,60
30-40	24,24	37,00	2,49	1,28	48,60
40-50	24,96	38,60	2,44	1,29	47,10
50-60	26,44	41,24	2,42	1,37	43,40
60-70	26,48	41,08	2,78	1,34	51,80
70-80	23,08	37,68	2,65	1,39	47,50
80-90	25,04	36,92	2,72	1,40	48,50
90-100	24,80	40,12	2,73	1,38	49,50

Плотность сложения определяет основные агрофизические свойства. При орошении сточными водами отмечалось ее увеличение как в пахотном слое, так и в подпахотном. В среднем в слое 0-30 см в контроле без орошения она составила 1,27 г/см<sup>3</sup>, в подпахотном слое – 1,29, на варианте с вегетационными поливами, соответственно – 1,32 и 1,39, на варианте с намораживанием – 1,36 и 1,30 и с круглогодичным использованием – 1,36 и 1,38 г/см<sup>3</sup>.

Расчеты показывают, что порозность почвы в контроле без орошения в пахотном горизонте равна 49,63%, в подпахотном слое снижается до 47,90, на варианте с вегетационными поливами, соответственно – 48,83 и 45,0, на варианте с намораживанием – 46,9 и 46,2 и на варианте с круглогодичным использованием сточных вод – 48,6 и 45,95%.

Для более полного представления о влиянии поливов сточными водами на структур-

ные изменения черноземов были выполнены микроагрегатные анализы по методу Н.А. Качинского.

Сопоставляя результаты гранулометрического и микроагрегатного анализов черноземов обыкновенных, можно отметить, что поливы сточными водами г. Алейска привели к уменьшению фактора дисперсности по сравнению с контролем. Так, на варианте с вегетационными поливами фактор дисперсности составил 10,20-13,90%, на варианте с намораживанием – 7,70-10,95, с круглогодичным использованием – 7,98-10,53, а в контроле без орошения – 7,10-16,50%.

Из данных таблицы 2 следует, что количество микроагрегатов (крупнее 0,25 мм) в слое почвы 0-20 см составляет от 94,7 до 99,1%, в слое 20-40 см снижается до 92,6%. В конце вегетационного периода содержание структурных отдельностей уменьшается до 93,3-96,6%.

Наибольшее количество водопрочных агрегатов отмечено в слое 0-20 см (69,8-87,2%), в слое 20-40 см их количество снижается до (59,0-74,0%). Многолетние травы, развивая мощную корневую систему, способствуют образованию высокострук-

турной почвы, макроагрегаты которой подвергаются незначительной сезонной динамике.

Данные по водопроницаемости чернозема свидетельствуют, что этот показатель заметно изменяется во времени, что связано с насыщением почвы водой, набуханием почвенных коллоидов, изменением ее структурного состояния (рис. 2, 3).

Кроме того, при полном насыщении почвы водой водопроницаемость приобретает более или менее постоянное значение, характеризующее процесс фильтрации.

Следует отметить, что качество результатов определения водопроницаемости тем лучше, чем более почва однородна с поверхности поля и более постоянна во времени, а присутствие поглощенного натрия в почвенном поглощающем комплексе способствует быстрому набуханию почвы, а значит, ухудшению водопроницаемости.

Таким образом, почвы опытно-производственного участка, пропускающие за 1 ч от 75,80 до 91,10 мм воды при напоре 5 см обладают хорошей водопроницаемостью, а на неорошаемом участке до 161,80 мм – наилучшей.

Таблица 2

Микроагрегатный состав черноземов обыкновенных опытно-производственного участка

Интервал отбора, см	Содержание фракций, % от абс. сухой почвы							Наименование почв
	1-0,25 мм	0,25-0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01-0,005 мм	0,005-0,001 мм	менее 0,001 мм	∑ менее 0,01 мм	
Орошение сточными водами в вегетационный период								
0-10	0,27	2,41	76,60	9,52	8,36	2,84	20,72	среднесугл.
10-20	0,43	7,93	75,36	7,84	6,04	2,40	16,28	среднесугл.
20-30	0,43	3,61	80,81	4,68	7,92	2,52	15,12	среднесугл.
30-40	0,47	11,65	68,80	10,40	5,24	3,44	19,08	среднесугл.
40-50	0,46	3,26	73,12	8,88	8,60	5,68	23,16	среднесугл.
50-60	0,41	4,87	71,92	8,16	9,40	5,24	22,80	тяжелосугл.
Полив сточными водами методом намораживания								
0-10	0,28	2,21	76,58	9,77	8,47	2,69	20,93	среднесугл.
10-20	0,42	7,43	76,73	7,38	5,82	2,22	15,42	среднесугл.
20-30	0,42	2,96	82,24	4,32	7,45	2,61	14,38	среднесугл.
30-40	0,47	11,23	68,01	11,13	5,48	3,68	20,29	среднесугл.
40-50	0,46	3,18	72,76	9,12	8,72	5,76	23,60	среднесугл.
50-60	0,41	4,93	71,09	8,56	9,53	5,48	23,57	среднесугл.
Круглогодичное использование сточных вод								
0-10	0,21	1,90	76,87	5,91	8,59	2,52	17,02	среднесугл.
10-20	0,41	7,13	77,35	7,20	5,81	2,10	15,11	среднесугл.
20-30	0,41	2,15	83,45	4,18	7,12	2,77	14,07	среднесугл.
30-40	0,48	10,98	67,29	11,79	5,64	3,82	21,25	среднесугл.
40-50	0,47	3,04	72,16	9,38	8,98	5,97	24,33	среднесугл.
50-60	0,42	5,04	70,05	8,97	9,76	5,76	24,49	среднесугл.
Контроль без орошения								
0-10	0,26	9,06	75,60	6,76	5,16	3,16	15,08	среднесугл.
10-20	0,46	12,34	73,76	5,80	5,04	2,60	13,44	среднесугл.
20-30	0,18	8,02	79,12	5,24	5,84	1,60	12,68	среднесугл.
30-40	0,30	15,46	72,88	4,44	4,28	2,64	11,36	среднесугл.
40-50	0,29	12,55	74,60	5,00	4,60	2,96	12,56	среднесугл.
50-60	0,28	14,28	73,50	4,90	4,50	2,54	11,94	среднесугл.



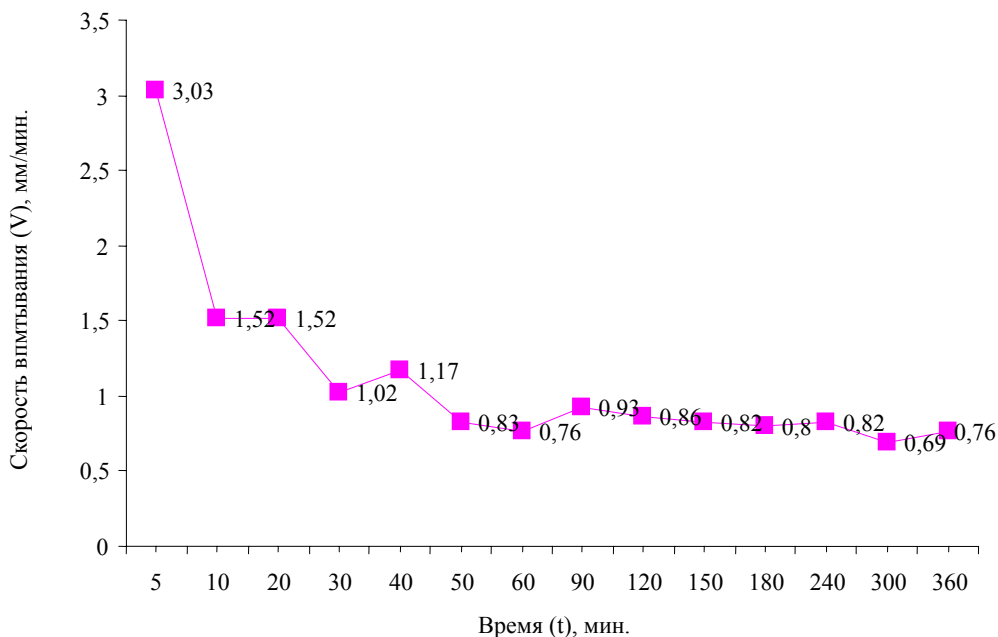


Рис. 2. График изменения скорости впитывания (опыт № 1 – орошаемый участок)

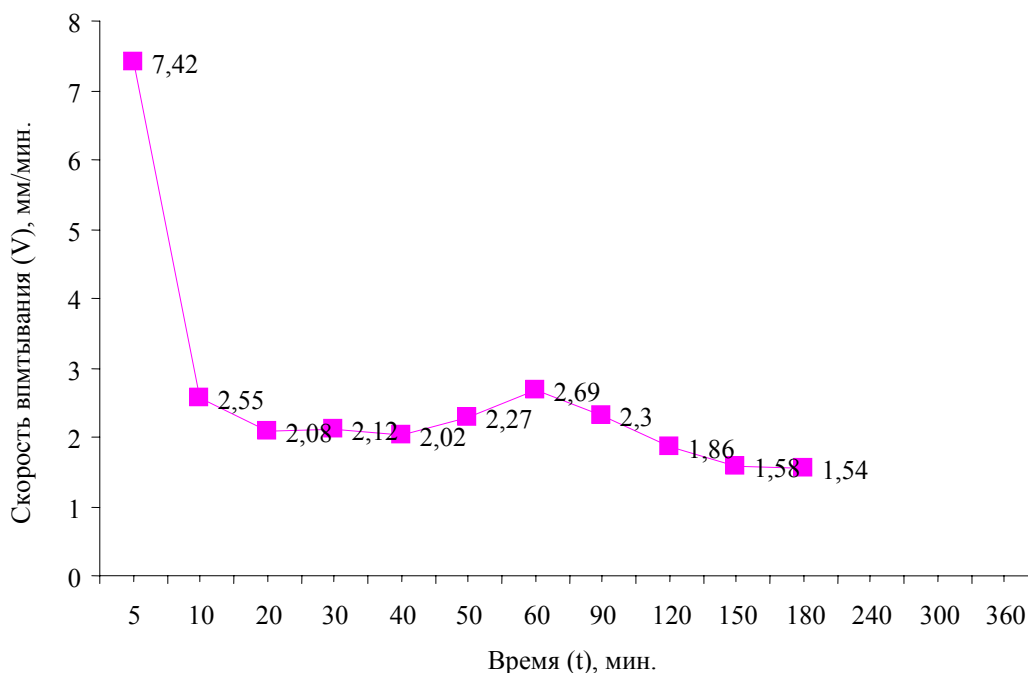


Рис. 3. График изменения скорости впитывания (опыт № 3 – неорошаемый участок)

Экологически безопасная технология круглогодичного использования сточных вод на черноземах позволяет весь их объем с карт полей фильтрации дочистить и обеспечить сельскохозяйственные культуры элементами питания, а также исключить попадание сточных вод в поверхностные и подземные воды.

**Библиографический список**

1. Воробьева Р.П. Использование сточных вод и животноводческих стоков для орошения сельскохозяйственных культур в

условиях Юго-Западной Сибири. – М.: Россельхозакадемия, 1995. – 311 с.

2. Алешина Н.И., Макарычев С.В. Использование городских сточных вод для орошения многолетних трав // Вестник Алтайского ГАУ. – 2007. – № 10 (36). – С. 23-28.

3. Макарычев С.В., Алешина Н.И., Тиньгаев А.В. Трансформация агрохимических свойств черноземов, орошаемых сточными водами // Вестник Алтайского ГАУ. – 2007. – № 9 (35). – С. 23-28.