

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волков, А.Е. Освоение и использование мелкозалежных торфяников. – Мн.: Ураджай, 1975. – 176 с.
2. Белковский, В.И. Влияние минеральных компонентов на водные свойства и влагозаносы торфяной почвы: сборник «Мелиорация переувлажненных земель / В.И. Белковский, М.В. Загурский, Д.Б. Даутина. – Вып. 23. – Мн.: Ураджай, 1975. – С.147–154.
3. Романова, Т.А. Принципы почвенно-мелиоративного районирования Белорусского Полесья. – Научные основы мелиорации почв. – М., Наука, 1972. – С. 59–65.
4. Шебеко, В.Ф. Испарение с болот и баланс почвенной влаги. – Мн.: Ураджай, 1975. – С. 111–113.
5. Бурматов, И.М. Изменение водного и температурного режима торфяно-болотных почв при различных добавках минеральных грунтов. – Кн.: Мелиорация – путь к высоким урожаям / И.М. Бурматов, И.М. Емельянова, М.П. Петрова – Л., 1975. – С. 18–24.
6. Стельмашук, С.С. Влияние рельефных условий Белорусского Полесья на режим влажности почв и урожайность. – Проблемы водных ресурсов. – Мн.: Наука и техника, 1980. – С. 95–98.
7. Брезгунов, В.С. Микрорельеф и урожай на торфяниках. – Мелиорация переувлажненных земель / В.С. Брезгунов, Л.К. Стычинский, А.П. Решетник. – Труды: Т. XXVIII. – Минск, 1980.

Материал поступил в редакцию 21.01.10

STELMASHUK S.S., VODCHYTS N.N. Levelling of microrelief and fertility of ameliorating soils

The technical possibility to carry out the planning works on the ameliorating swamped massifs when the height of mineral pinching out up to 1 meter using serial ameliorating-building machines is prescribed.

УДК 553.97

Глушко К.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ ВОДОСБОРА р. БОБРИК

Ведение. Прогнозирование и управление процессами передвижения влаги на стадии промерзания, оттаивания, а также температурным режимом почвы возможно только при наличии тепловых характеристик. Тепловые характеристики осушенных торфяников имеют сложный характер. Установлено, что температуропроводность, теплопроводность и объемная теплоемкость наиболее зависят от двух величин – плотности и влажности [1, 2, 3]. Поэтому выявление изменчивости тепловых характеристик, установление характера связей является важным при разработке моделей передвижения влаги в мерзлой почве и уяснения природы происходящих фазовых процессов.

Опытный участок площадью 100 га, находится в пойме р. Бобрин на территории Полесской опытно-мелиоративной станции. Схема опытного участка приведена на рис. 1.

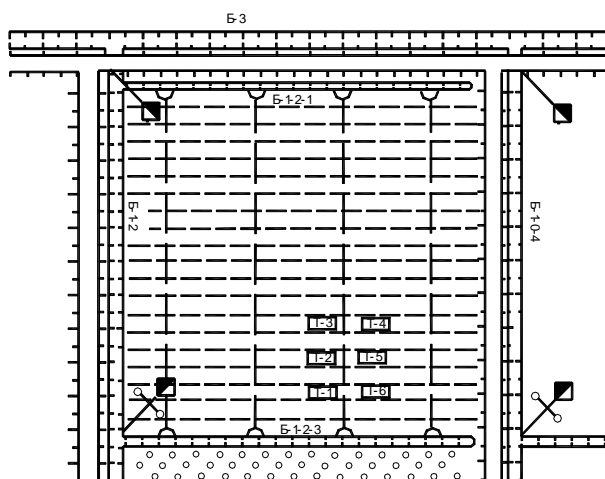


Рис. 1. Схема опытного участка водосбора р. Бобрин
Т-1, Т-2, Т-3, Т-4, Т-5, Т-6 – места установки оборудования

Почвы опытного участка и всего водосбора представлены среднечеткими, глубиной 70 см, осоко-тростниковыми торфами со

степенью разложения $R = 40 - 50\%$. Залегают они на мощной толще (50 м) песчаных отложений. Непосредственно подстилающими породами являются пески аллювиальных отложений. Границей раздела слоев является тонкий около 5 см мульчирующий слой торфа.

При обосновании выбора метода определения тепловых характеристик торфяных почв исходим из того, что наиболее часто используются стационарные и нестационарные методы. Общим является наличие температурного градиента, который определяет наиболее весомую часть теплообмена – миграцию влаги в направлении теплопотока. Это является причиной ошибок при определении теплофизических характеристик экспериментальным путем. Недостатком стационарного метода является значительная продолжительность опыта, вследствие чего массопоток оказывает существенное влияние на достоверность результатов эксперимента. Продолжительность опыта при нестационарном опыте короче. В итоге, достоверность выше. Следовательно, применение метода основанного на нестационарном тепловом режиме, преимущественно при определении теплофизических свойств дисперсных материалов.

Объемная теплоемкость C_r , коэффициент теплопроводности l и коэффициент температуропроводности a , являются основными теплофизическими характеристиками влажных дисперсных материалов. Они связаны между собой уравнением:

$$l = a C_r. \tag{1}$$

Объемная теплоемкость, как известно, равна сумме теплоемкостей каждой фазы. Теплоемкость влажного торфа в трехфазном состоянии равна

$$C_r = C_e \varphi_e + C_n \varphi_n + C_{eoz} \varphi_{eoz}, \tag{2}$$

где C_e – удельная теплоемкость воды;

C_n – удельная теплоемкость почвы;

C_{eoz} – удельная теплоемкость воздуха;

γ_e – плотность воды;

γ_n – плотность почвы;

γ_{eoz} – плотность воздуха.

Во всех случаях C_{eoz} и γ_{eoz} пренебрегаем ввиду их малости.

Глушко Константин Александрович, к.т.н., доцент кафедры сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Удельная теплоемкость скелета почвы была принята равной $19,70 \cdot 10^2$ Дж/(кг °С). Для мерзлой почвы процесс определения объемной, или так называемой эффективной теплоемкости, несколько усложняется, т.к. здесь в состав почвы входит еще лед, и имеют место фазовые превращения. Поэтому эффективную теплоемкость в соответствии с рекомендациями определили по формуле:

$$(C_{г})_{мер} = C_{г} \Phi_{г} + C_{л} \Phi_{л} + C_{в} \Phi_{в} + W_{нз} / dt, \quad (3)$$

где $W_{нз} / dt$ – изменение объемного содержания незамерзшей воды при изменении температуры на 1°С.

Температуропроводность торфа определялась с помощью калориметра, принцип которого основан на теории регулярного режима Г.М. Кондратьева. Тангенс угла наклона x , характеризующий скорость охлаждения образца, определялся по известной формуле

$$x = \frac{\ln(t_0 - t_1) - \ln(t - t_1)}{(t - t_0)}, \quad (4)$$

где t – температура какой-либо точки тела в момент времени t ;

t_1 – постоянная температура среды,

t_0 – температура в той же точке тела в начальный момент времени t_0 .

В этом случае коэффициент температуропроводности определяется по формуле

$$a = g \cdot \chi_k, \quad (5)$$

где g – постоянная прибора, зависящая от формы и размера образца.

В эксперименте использовались цилиндрические латунные бюксы, для которых постоянная прибора определяется по формуле:

$$g = \frac{1}{2,40488 / R^2 + (p/h)^2}, \quad (6)$$

где R – радиус цилиндра;

h – высота цилиндра.

Для бюкса, применявшегося в исследованиях $g = 0,70$. Определение коэффициента температуропроводности проводили с образцами торфа, отобранными в сезонно промерзающем слое почвы 0–40 см верхнего горизонта почвы по шести точкам, привязываясь к местам установки лизиметрического оборудования с известными водно-физическими характеристиками. Образцы почвы были доставлены в гидрофизическую лабораторию главной экспериментальной базы Государственного Гидрологического института г. Санкт-Петербург.

Образцы исследуемой почвы помещались в тонкостенные (0,4–0,5 мм) латунные цилиндры, закрывались крышкой, а места соединения для достижения полной герметизации покрывались водостойким клеем БФ-88. После этого в центре образца просверливалось узкое отверстие, в которое помещался на середине высоты образца один из спаев медно-константовой термопары. Провода пропускались через узкую трубку, встроенную в крышке цилиндра. Второй спай помещался в окружающую образец жидкость. Провода от спаев подводились к зеркальному гальванометру высокой чувствительности. Образец почвы, выдержанный при постоянной температуре в ультратермостате в течение двух-трех суток, помещался в термостат. Температура воды в термостате измерялась психометрическим термометром с точностью 0,05°С. Выводы термопары быстро подсоединялись к гальванометру и сразу включался секундомер. Расчет температуры образца производился через каждые 10 секунд до тех пор, пока температура образца и воды не выровнялись. При определении температуропроводности почвы в другом диапазоне температур задавалась требуемая температура воды в термостате и опыт повторялся вновь. В каждом из опытов разность температур воды и образца была не ниже 20°С. Поэтому определение теплофизических характеристик происходило в следующей последовательности:

1. По результатам проведения опытов строилась зависимость $\ln t = f(t)$ и определялся коэффициент x по уравнению (4).

2. Рассчитывалось значение g по формуле (6), после чего определялся коэффициент температуропроводности a .

3. По известному значению коэффициента температуропроводности и удельной теплоемкости и плотности по формуле (1) определялся коэффициент теплопроводности λ .

4. Объемная теплоемкость исследуемой почвы определялась по формуле (3), используя табличные значения удельной теплоемкости составных компонентов, предварительно определив термостатно-весовым способом его влажность.

Опыты по определению теплофизических характеристик мерзлых почв проводились по вышеизложенной методике. Однако наличие фазовых превращений почвенной влаги позволяет получить величину «кажущегося» или «эффективного» коэффициента температуропроводности. Истинный коэффициент температуропроводности рассчитывался по формуле, исключаяющей величину фазовых превращений,

$$a_{мер} = a_{эф} \frac{\rho}{\rho_0} - \frac{L \cdot \chi \cdot W}{C_{г}} \cdot \frac{d\Phi}{dt} \frac{\rho}{\rho_0} \quad (7)$$

Вышеописанные эксперименты проводились при различной влажности образцов – от абсолютно сухого до полного насыщения в двукратной повторности. Если результаты двух опытов различались более чем на 10% при одном и том же значении влажности – опыт повторялся вновь.

Результаты расчета объемной теплоемкости талого и мерзлого торфа при различной объемной влажности и плотности приведены в таблице 1.

Анализ данных показывает, что объемная теплоемкость талого и мерзлого торфа растет с увеличением плотности и влажности. Доминирующим фактором в увеличении теплоемкости является влажность. Это следует из того, что для двух крайних значений плотности объемная теплоемкость для талого торфа при объемной влажности 0% разнится в 1,7 раза, тогда как при 80% – всего в 1,08 раза. С увеличением влажности объемная теплоемкость приближается по своему значению к теплоемкости воды. В отношении эффективной теплоемкости мерзлого торфа необходимо отметить, что при прочих равных условиях ее значение меньше, чем талой.

Объясняется это тем, что с ростом содержания льда в почве эффективная теплоемкость нарастает значительно медленнее из-за того, что удельная теплоемкость льда практически в два раза ниже воды. На значительно меньшую величину уменьшается плотность льда по сравнению с водой. (0,917 и 1,0 г/см³).

По результатам лабораторных исследований установлена также зависимость коэффициента температуро- и теплопроводности от плотности и влажности торфа в талом и мерзлом состоянии, рис. 2 и 3.

Из рис. 2(а) видно, что коэффициент температуропроводности талого торфа непрерывно возрастает с увеличением влажности. Только для торфа плотностью 0,16–0,18 г/см³ зависимость имеет более четко выраженный характер. Монотонно возрастающая в области низкой влажности до 50%, она выравнивается с остальным ростом влажности. Это обусловлено малым содержанием сухого вещества, а следовательно, и малой площадью контакта, т.е. значительной пористостью. Последняя определяет роль конвективной и лучистой составляющей теплообмена в почве. По результатам исследований Н.С. Иванова [4], этот вид теплопередачи для торфа может не учитываться. Так как лучистая составляющая не превышает 1% теплопередачи, а конвективный теплообмен может возникнуть в порах толщиной больше 10 мм при температурном градиенте больше 0,3°С. В щелях, прослойках до 5 мм конвекция отсутствует даже при перепаде 100°С.

Для исследуемого торфа аналитическая зависимость $a_T = f(W, \tau)$ имеет вид

$$a_T = \exp(-0,104W + 0,663\tau), \quad (8)$$

где W – объемная влажность почвы %;

Таблица 1. Средние значения объемной теплоемкости талой и мерзлой почвы

Объемная влажность, %	Талая						Мерзлая							
							Плотность, кг/м ³							
	160	180	200	220	240	260	280	160	180	200	220	240	260	280
0	0,31	0,35	0,39	0,43	0,47	0,51	0,55	0,31	0,35	0,39	0,43	0,47	0,51	0,55
10	0,73	0,77	0,82	0,85	0,89	0,93	0,97	0,58	0,62	0,68	0,71	0,74	0,78	0,82
20	1,15	1,19	1,23	1,27	1,31	2,35	1,38	0,85	0,89	0,94	0,98	1,02	1,06	1,10
30	1,57	1,61	1,65	1,69	1,72	1,76	1,81	1,11	1,17	1,24	1,25	1,29	1,34	1,37
40	1,99	2,03	2,07	2,11	2,15	2,19	2,23	1,38	1,45	1,49	1,53	1,57	1,62	1,66
50	2,41	2,44	2,48	2,53	2,56	2,61	2,65	1,64	1,72	1,76	1,93	1,85	1,89	1,94
60	2,82	2,86	2,91	2,95	2,98	3,03	3,06	1,92	1,98	2,04	2,08	2,13	2,17	2,21
70	3,24	3,28	3,32	3,36	3,41	3,44	3,48	2,11	2,26	2,26	2,41	2,42	2,44	2,49
80	3,67	3,71	3,75	3,78	3,82	3,86	3,90	2,46	2,54	2,59	2,64	2,68	2,72	2,76

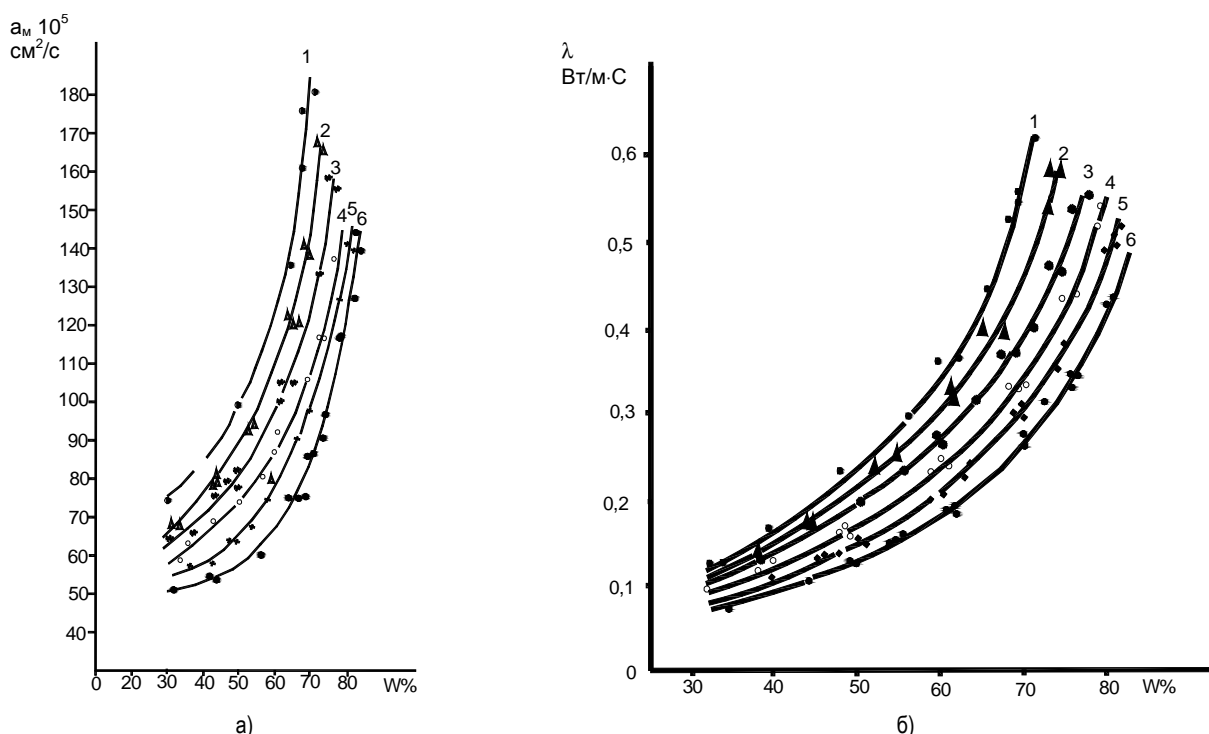


Рис. 2. Зависимость коэффициента температуропроводности талого торфа (а) и теплопроводности (б) от объемной влажности и плотности торфа. Плотность, г/см³: 1) 0,30–0,37; 2) 0,26–0,28; 3) 0,24; 4) 0,20–0,22; 5) 0,18; 6) 0,12–0,16

γ_{Γ} – плотность почвы, г/см³.

Коэффициент корреляции связи равен 0,87.

Коэффициент теплопроводности талого торфа (см. рис. 2(б)) возрастает также непрерывно с увеличением влажности и плотности. Он характеризуется более согласованным характером изменения для кривых различной плотности. Для торфа аналитическое выражение $I_{\Gamma} = f(W, \gamma)$ имеет вид

$$I_{\Gamma} = \exp(0,037W + 0,86\gamma_{\Gamma} - 2,31). \quad (9)$$

Коэффициент корреляции связи равен 0,89. Данные по a_{Γ} и I_{Γ} хорошо согласуются с результатами исследований низинного торфа, приведенными в работах [2, 6].

Теплофизические характеристики мерзлого торфа представлены зависимостями, приведенными на рис. 3(а) и 3(б).

Они аппроксимируются, соответственно, уравнениями:

$$a_M = \exp(0,037W + 0,88\gamma_{\Gamma} - 6,49), \quad (10)$$

$$I_M = \exp(0,049W + 1,50\gamma_{\Gamma} - 0,89). \quad (11)$$

Коэффициенты корреляции связи соответственно 0,84 и 0,82.

Анализ данных показывает, что температуропроводность мерзлого торфа в 3–4 раза выше талого при одной и той же влажности. Это же соотношение наблюдается и для теплопроводности мерзлого торфа. Это явление объясняется тем, что пористость уменьшается за счет расширения воды при переходе ее в лед.

Результаты хорошо согласуются с выводами и результатами исследований, приведенных в работах [2, 5, 6] и др.

Заключение. Экспериментальные исследования тепловых характеристик талого и мерзлого торфа показали, что коэффициент температур- и теплопроводности определяется влажностью и плотностью. Наблюдается устойчивая закономерность роста коэффициента температур- и теплопроводности с ростом влажности и плотности почвы. Эта закономерность более выражена для мерзлых торфов. Полученные характеристики могут быть использованы для расчета количества незамерзшей воды в почве, льдистости и мощности водонепроницаемого слоя.

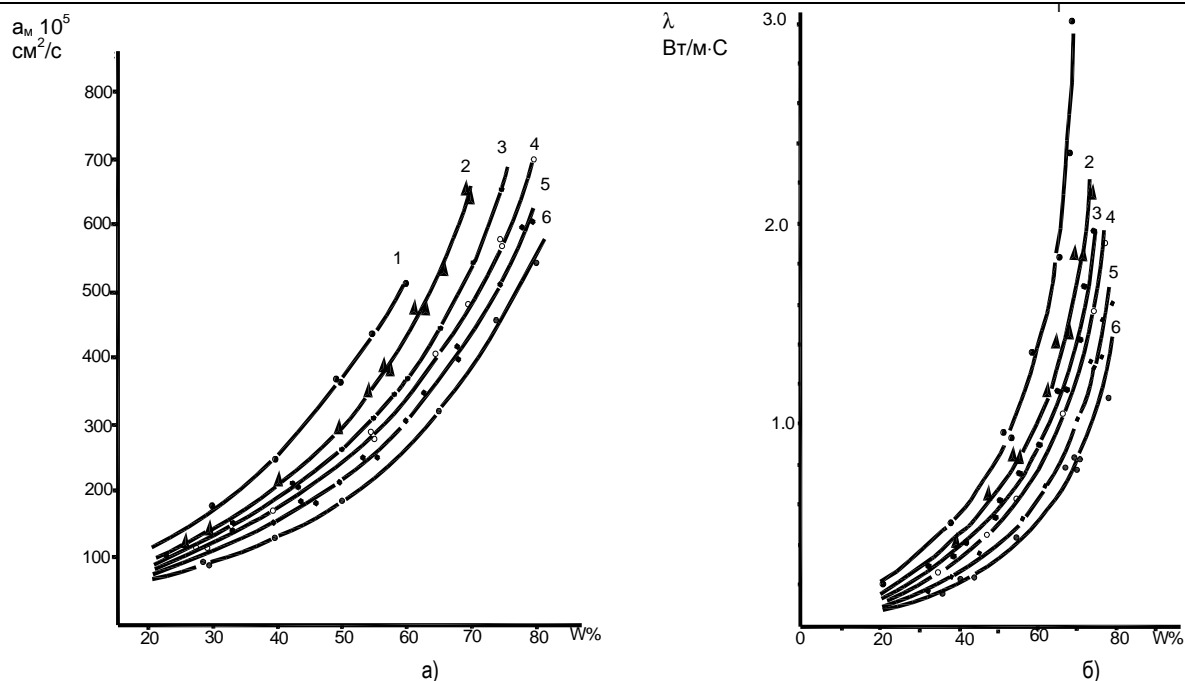


Рис. 3. Зависимость коэффициента температуропроводности мерзлого торфа (а) и теплопроводности (б) от объемной влажности и плотности торфа. Плотность, г/см³: 1) 0,30–0,37; 2) 0,26–0,28; 3) 0,24; 4) 0,20–0,22; 5) 0,18; 6) 0,12–0,16

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ершов, Э.Д. Физика- химия и механика мерзлых пород. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 439 с.
2. Калюжный, И.Л. Гидрофизические исследования при мелиорации переувлажненных земель / И.Л. Калюжный, К.К. Павлова, С.А. Лавров – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С.114–115.
3. Капотов, А.А. Исследование водопроницаемости талых и мерзлых почвогрунтов верхних слоев аэрации: автор. дис. ... к-та техн.наук, 1973. – 20 с.
4. Иванов, Н.С. Тепло- и массоперенос в мерзлых горных породах. – М.: Наука, 1969. – 240 с.
5. Андрианов, В.М. Некоторые вопросы внутреннего теплопереноса во влажных твердых дисперсных материалах при отрицательной температуре: автор. дис. ... канд. физ-мат наук. – Киев, 1973. – 27 с.
6. Давидовский, П.Н. Тепло- и массоперенос в промерзающих торфяных системах / П.Н. Давидовский, Г.П. Бровка. – Мн.: Наука и техника, 1985. – 160 с.

Материал поступил в редакцию 16.02.10

GLUSHKO K.A. The investigation of the thermal characteristics of the reclaimed peatlands of the Bobrik River watershed

The thermal characteristics of the reclaimed peatlands of the Bobrik River watershed have been investigated. The regularity of their change depending on the basic water-physical characteristics has been determined. Their quantitative correlations have been determined for melted snow and frozen soil.

УДК 628.337

Строкач П.П., Яловая Н.П.

ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННАЯ ПОДГОТОВКА ПРИРОДНЫХ ВОД

Введение. Природная вода представляет собой сложную гетерогенную систему, содержащую разнообразное мелко и крупно суспендированные, коллоидно-растворенные, газообразные и истинно-растворенные вещества [1]. Кроме того, природная вода является электролитом, так как растворенные в ней газы, минеральные и органические вещества в той или иной степени диссоциированы на ионы, а коллоидные и взвешенные вещества в большинстве случаев несут определенный заряд.

Электрокоагуляция обусловлена введением положительных многозарядных ионов металла, гидролизующихся в воде с образованием гидроксидов и других промежуточных соединений. Данный метод обеспечивает высокий, а иногда и единственный эффект удаления из воды загрязнений в виде взвесей (минерального, орга-

нического и биологического происхождения), коллоидов (соединений железа, веществ, обуславливающих цветность воды и т. д.), а также отдельных веществ, находящихся в молекулярном и ионном состоянии, благодаря высокой сорбционной способности электрохимически получаемого гидроксида алюминия.

Разработка и внедрение методов электрообработки загрязненных водных систем позволяет применять электрохимические технологии для решения многих экологических проблем.

Технологические особенности электрокоагуляционной очистки природных вод. Электрокоагуляционный метод очистки природных и сточных вод давно привлекает исследователей и практиков разных стран как эффективный и прогрессивный способ подготовки воды для хозяйственно-питьевого, промышленного водоснаб-

Строкач Петр Павлович, к.т.н., профессор кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Яловая Наталья Петровна, к.т.н., доцент, директор института повышения квалификации и переподготовки кадров Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.