09 2018

TEXHUMECKUE HAYKU

УДК 627.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА

АБДРАЗАКОВ Фярид Кинжаевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

МИХЕЕВА Ольга Валентиновна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ПАНКОВА Татьяна Анатольевна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ОРЛОВА Светлана Сергеевна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова.

МИРКИНА Елена Николаевна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

Проведено исследование изменения подпора грунтовых вод во времени и на разном удалении от водохранилища с момента заполнения до периода полной стабилизации потока.

Введение. В настоящее время все большее внимание уделяется восстановлению и созданию искусственных водоемов (прудов и водохранилищ), в частности для целей рыборазведения, отдыха и в качестве противопожарных резервуаров. Однако любой водоем может оказать влияние на подтопление близлежащих территорий, автодорог в зоне влияния водохранилищ [3], сельхозугодий и дачных массивов. Рассмотрен подъем уровня грунтовых вод на территории, прилегающей к водохранилищу «Новое» Воскресенского района Саратовской области.

Водохранилище «Новое» находится на реке Елочная Воскресенского района Саратовской области. Водоем располагается на ровной площадке, площадь зеркала составляет 4 га, глубина при НПУ – 6 м, глубина реки до создания водохранилища составляла 1 м. Средняя пористость пород равна 0,2; средний коэффициент фильтрации – 0,25 м/сут.

Левый склон сложен в основном тяжелыми суглинками с прослойками песками и включениями щебня. С глубины 1,7–3,5 м суглинки подстилаются глинами коричневого цвета, твердой консистенции.

Русловая часть до глубины 4,8 м представлена иловатыми глинами черного цвета, тугопластичной консистенции. Правый склон сложен суглинками средними коричневого цвета твердой консистенции с включениями песка и щебня. Грунтовые воды залегают на глубине от 0,95 до 5,3 м. Воды пресные, гидрокарбонатного типа, не агрессивные. Рассмотрим влияние грунтовых

вод на подтопление территории вблизи водохранилища.

Кривые свободной поверхности подземных вод (кривые депрессии) зависят от их местоположения в той или иной части водохранилища (вблизи от плотины, в средней части водохранилища, в хвостовой его части). Кроме того, кривые свободной поверхности зависят от условий питания и стока подземных вод. Рассмотрим формы кривых свободной поверхности подземных вод в непосредственной близости от водохранилища.

Если в естественных условиях подземные воды питали реку, и кривая депрессии была наклонена к реке, то спустя некоторое время $t_{\scriptscriptstyle S}$ после начала заполнения водохранилища она приобретает уклон от водохранилища вглубь берега. На оси фильтрационной ложбины эта кривая имеет наименьшую высоту. Далее вглубь берега она повышается. С течением времени кривая депрессии поднимается и может снова приобрести уклон в сторону водохранилища.

В том случае, когда река питает подземные воды и кривая депрессии наклонена от реки, то во время наполнения водохранилища и после него кривая депрессии по-прежнему имеет уклон от водохранилища вглубь берега. С течением времени эта кривая становится более пологой, сохраняя уклон в сторону берега реки. На разрезе, нормальном к урезу нижнего бьефа, кривая депрессии имеет наибольшую высоту на оси фильтрационного вала [5, 8].

Случается, что в процессе распространения подпора, кривая депрессии в каком-либо месте достигает поверхности земли, то подземные воды высачиваются на эту поверхность и подтопляют ее, что вызывает заболачивание.

Обычно такое выклинивание подземных вод на поверхность земли происходит в различного рода естественных или искусственных понижениях рельефа (в староречьях, оврагах, сухих балках, дренах, карьерах, котлованах и т.п.), что вызывает замедление подъема их уровня. Распространение подпора за область выклинивания также замедляется [5, 8].

В случае, когда кривая подпора в месте пересечения ее с дренирующим понижением имеет уклон к водохранилищу, тогда подземные воды разделяются на два потока, причем один из них поступает в дренирующее понижение, а другой обтекает это понижение снизу и движется далее к свободной поверхности потока и к водохранилищу. В этом случае кривая подпора между водохранилищем и понижением имеет точку разветвления, в которой уровень подземной воды достигает максимума. В случае, когда фильтрационные и поверхностные воды, поступающие в дренирующее понижение, не имеют стока или имеют ограниченный сток, они накапливаются в этом понижении.

Если кривая подпора пересекает горизонт воды в понижении, то фильтрационные воды с верховой стороны поступают в понижение, а с низовой стороны вытекают из него, поэтому максимум на кривой подпора не появится. Точка разветвления находится в этом случае на контуре понижения, а поток состоит из трех отдельных течений, направленных от берега к понижению, из понижения к водохранилищу и от берега к водохранилищу [1, 5].

В варианте, когда кривая подпора в месте пересечения ее с дренирующим понижением имеет уклон от водохранилища, то фильтрационные воды, поступающие из последнего, разделяются на два потока: один из них поступает в дренирующее понижение, а другой обтекает это понижение снизу и движется к свободной поверхности потока за дренирующим понижением. В соответствии с этим кривая подпора за понижением имеет точку разветвления потоков, где уровень фильтрационных вод достигает максимума.

Целью исследований является определение возможного подтопления близлежащих территорий в зоне влияния водохранилища.

Методика исследования. Безнапорное движение подземных вод в однородных грунтах описывается уравнением Буссинеска [5]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\mathbf{e}}{k} = \frac{\mathbf{m}}{k} \cdot \frac{\partial h}{\partial t}, \quad ($$

где h — напор, измеряемый от водоупора водоносного пласта; ϵ — модуль питания, равный скорости поступления воды в пласт через его подошву и свободную поверхность потока; k — коэффициент фильтрации водоносного грунта; μ — пористость.

После линеаризации уравнения (1) получим уравнение, аналогичное уравнению теплопроводности Фурье [5]:

$$a\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) + \frac{\varepsilon h_s}{\mu} = \frac{\partial u}{\partial t}, \ a = \frac{k h_s}{\mu} \ . \tag{2}$$

При первом способе линеаризации $u = hh_s$, а при втором способе линеаризации $u = 0.5h^2$.

Осредненную глубину потока h_s определяем на основе сравнения решения нелинейного (1) и линеаризованного (2) уравнений. Такое сравнение выполнено для простейшей схемы одномерного полуограниченного потока при мгновенном изменении уровня воды на его внешней границе (решение нелинейного уравнения для этого случая получено П.Я. Кочиной [5], а решение линеаризованного уравнения известно в теории теплопроводности) [5].

Существуют следующие способы расчета осреднённой глубины потока h_{ς} .

При подъеме уровня воды на границе пласта в прибрежной зоне формируется кривая подпора, а при понижении – кривая спада. Для этих случаев среднюю глубину фильтрационного потока со свободной поверхностью в однородном грунте определяем по формуле [5]:

$$h_{s} = 0.5 \left(H_{\text{max}} + H_{\text{min}} \right) \cdot \beta, \tag{3}$$

где β — коэффициент, зависящий от отношения максимальной и минимальной глубины потока на границах пласта (H_{\min}/H_{\max}).

При определении средней глубины потока h_s в неоднородно слоистой толще по формуле (3) вместо H_{\min} и H_{\max} принимаем приведенные глубины \overline{H}_{\min} и \overline{H}_{\max} , а коэффициент β определя

ем по графикам в зависимости от отношения приведенных глубин $\overline{H}_{\min}/\overline{H}_{\max}$.

Рекомендуется находить h по следующей зависимости [5]:

$$h_s = \frac{1}{3} (H_{\min} + H_{\max} + h_t),$$
 (4)

где h_t – глубина естественного потока на расстоянии x_t от уреза водохранилища, причем [5]

$$x_{t} = \sqrt{\frac{k(H_{min} + H_{max}) \cdot t}{\mu}} , \qquad (5)$$

09 2018



где t — время, при котором определяем глубину потока. По Н.Н. Веригину можно принимать [5]:

$$h_s = 0.5(h + h_e),$$
 (6)

где h и h_e — глубина потока для времени t и 0 (вычисления проводятся методом последовательных приближений). Таким образом, решения всех задач о движении подземных вод в районах водохранилища, плотин, каналов [4] сводится к интегрированию уравнения относительно u.

При найденной напорной функции u напор h определяем при линеаризации по первому и второму способам соответственно [5]:

$$h = \frac{u}{h_a}, h = \sqrt{2u} \ . \tag{7}$$

Подпор от действия водохранилищ, прудов и каналов находим по формуле [5]:

$$z = h - h_a, \tag{8}$$

где h_e — естественный напор (глубина) потока подземных вод (при t=0).

Для определения подпора грунтовых вод и потерь на фильтрацию из водохранилищ необходимо при заданных, начальных и граничных условиях проинтегрировать основное дифференциальное уравнение неустановившегося движения подземных вод [2, 5].

Неустановившееся течение зависит от начального установившегося в момент времени t=0. Уравнение начального течения может быть получено из решения уравнения (2), если в нем

принять
$$\frac{\partial u}{\partial t} = 0$$
.

Постоянные интегрирования определим из граничных условий [5];

$$u(0) = U_1, q(0) = -k \frac{\partial u(0)}{\partial x} = q_0. \tag{9}$$

Тогда

$$u_e = U_1 - 0.5 \frac{\varepsilon}{k} \cdot x^2 - \frac{q_0}{k} \cdot x,$$
 (10)

где u, U_1 — напорная функция в любой точке пласта и на границе потока, при первом способе линеаризации $u=hh_s$ и $U_1=H_1h_s$; при втором способе линеаризации потока $u=0.5h_2^2$, $U_1=0.5H_1^2$; h_s — средняя глубина потока; ε — модуль питания грунтовых вод, равный расходу воды, поступаю-

щему на единицу площади потока грунтовых вод; q_0 – расход потока у реки (при x=0 и t=0) на единицу длины берега (при направлении потока от реки $q_0 < 0$) [5].

Рассмотрим решение задачи о подпоре грунтовых вод в районах водохранилищ для трех различных типов грунтового потока:

- а) полуограниченный грунтовый поток, где задан постоянный во времени расход из бесконечности q_0 ;
- б) ограниченный грунтовый поток, примыкающий к соседней речной долине, где задан постоянный во времени напор H_{ς} ;
- в) ограниченный грунтовый поток, примыкающий к цоколю коренного берега или террасы, где задан постоянный во времени расход потока $q_{\rm s}$.

Для полуограниченного потока принимаем начало координат в точке пересечения вертикали, проходящей через урез водохранилища с горизонтальным водоупором [5].

Ось абсцисс направим вправо. Тогда горизонтальная составляющая скорости, направленная от реки вглубь берега, а также расход грунтовых вод q будут положительны. При таких условиях неустановившееся движение грунтовых вод вблизи водохранилища определится уравнением (2).

Начальное условие при t = 0 выражается равенством (10).

При быстром наполнении граничное условие на границе потока у реки после мгновенного повышения горизонта воды от глубины H_1 до глубины H_2 имеет вид [5]:

$$u(0,1) = U_2 = \text{const},$$
 (11)

где $U_2 = H_2 h_s$ и $U_2 = 0.5 H_2^{-2}$ — значение напорной функции на границах пласта соответственно при первом и втором способах линеаризации.

Граничное условие на удаленной границе при бесконечно большой длине потока [5]:

$$\frac{\partial u(\infty,1)}{\partial r} = 0. \tag{12}$$

Решение задачи при начальном условии $u(x,0) = U_1$ известно [5].

При начальном условии (10) решение находим методом суперпозиции:

$$u = u_e = (U_2 - U_1) \cdot \Phi(v), v = \frac{x}{2\sqrt{at}}, \Phi(v) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{v}^{\infty} e^{-z_2} \partial z, \quad (13)$$

где u_e находим по уравнению (10).

Уравнение (12) при $t \to \infty$ принимает вид [5]:

$$u = U_2 - \frac{0.5\varepsilon}{k} \cdot x^2 - \frac{q_0}{k} \cdot x,$$
 (14)

09 2018



откуда видно, что уравнения (10) для t=0 и (14) для $t\to\infty$ отличаются лишь значениями постоянной [5].

Расход грунтовых вод в любом сечении потока с абсциссой x в момент времени t

$$q = -k\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{k(U_2 - U_1)}{\sqrt{\pi at}} \cdot e^{-\frac{x^2}{4at}} + \varepsilon x + q_0.$$
 (15)

Из уравнений (10) и (14) следует, что во всех сечениях потока расход грунтовых вод в естественных условиях (при t = 0) и после стабилизации течения (при $t \to \infty$) является одинаковым.

При $0 < t < \infty$, как видно из уравнения (15), расход q изменяется с течением времени, достигая в некоторый момент времени t_{\max} экстремального значения, которое найдем из условия [5]:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{k(U_2 - U_1)}{\sqrt{\pi a t_{\text{max}}} t_{\text{max}}} e^{-\frac{x^2}{4a t_{\text{max}}}} \left[\frac{x^2}{4 a t_{\text{max}}} - \frac{1}{2} \right] = 0 \quad . \quad (16)$$

Откуда

$$t_{\text{max}} = \frac{x^2}{2a}.\tag{17}$$

Приняв в уравнении (15) x = 0, найдем расход $q_{\rm R}$ грунтовых вод у водохранилища [5]:

$$t_{\text{max}} = \frac{x^2}{2a}.\tag{18}$$

Если в уравнении (18) расход $q_{\scriptscriptstyle B} > 0$, то вода вытекает из водохранилища (поток направлен в глубь берегового массива). Если в уравнении (18) расход $q_{\scriptscriptstyle B} < 0$, то вода поступает в водохранилище (поток направлен к реке).

При t=0 расход $q_{_{\rm B}}$ оказывается бесконечно большим, что обусловлено принятым ранее допущением о мгновенном подъеме воды в водохранилище от глубины H_1 до H_2 и вследствие исключения сопротивления грунтов, залегающих в основании. При подъеме воды с конечной скоростью расход при t=0 тоже имеет конечную величину [5].

Сопротивление грунтов, залегающих под дном водоема, можно учесть введением в расчетные зависимости (13), (18) фильтрационного сопротивления Δl .

С учетом сопротивления $\Delta\lambda$ расчетные формулы примут вид [5]:

$$u = u_e + (U_2 - U_1) \cdot \Phi\left(\frac{x - \Delta l}{2\sqrt{at}}\right); \tag{19}$$

$$q_{\scriptscriptstyle g} = \frac{k(U_2 - U_1)}{\Delta l + \sqrt{\pi a t}} \cdot q_0. \tag{20}$$

Объем воды, затраченной на фильтрацию за время t [1]:

$$V = \int_{0}^{t} q_{e} dt = 2k(U_{2} - U_{1}) \cdot \sqrt{\frac{t}{\pi a}} + q_{0}t. \quad (21)$$

Потери, вызванные подъемом уровня воды в реке при устройстве плотины, найдем по уравнению $V_{_{\Pi}} = V - q_{_{0}}t$, где V определяем по формуле (21) [5].

Рассмотрим кинематику движения потока в прибрежной зоне водохранилища [3]. Из анализа уравнения (15) следует, что кривая депрессии грунтовых вод в некоторой точке имеет минимум. В вертикальном сечении, проведенном через эту точку, глубина потока грунтовых вод минимальна, а расход их равен нулю. Через данную точку проходит ось фильтрационной ложбины на поверхности грунтовых вод. Минимум глубины потока наблюдается при $\varepsilon \ge 0$ и $q_0 < 0$, а также при $\varepsilon < 0$. Если $\varepsilon \ge 0$, а $q_0 > 0$, то минимум на кривой депрессии отсутствует. Абсциссу точки минимальной глубины x_{\min} определим из уравнения (8) при $q_0 = 0$ [5]:

$$x_{\min} = 2\sqrt{atlx\left[-\frac{k(U_2 - U_1)}{(q_0 + \varepsilon x_{\min})\cdot \sqrt{\pi at}}\right]} . \quad (22)$$

Из уравнения (22) при $\varepsilon \neq 0$ значение x_{\min} находим способом последовательных приближений, а при e=0 подсчитываем сразу. Минимальную глубину потока в сечении с абсциссой x_{\min} находим по решению (13) при условии $x=x_{\min}$.

Исследование уравнения (22) показывает, что x_{\min} при некотором значении времени t имеет максимум. Точка минимальной глубины потока в процессе неустановившегося движения вначале удаляется от уреза водохранилища, а затем снова приближается к урезу до совпадения с ним. Пока в потоке существует такая перемещающаяся точка, из водохранилища происходит фильтрация воды, вызывающая подъем уровня грунтовых вод на участке между водохранилищем и этой точкой (первая фаза течения). Когда мигрирующая точка снова совпадает с урезом водохранилища, фильтрация воды из водохранилища прекратится, и вода начнет поступать из грунтового потока в водохранилище (вторая фаза течения).

Таким образом, в первой фазе течения уровень грунтовых вод поднимается как вследствие фильтрации из водохранилища, так и за счет естественного грунтового потока. Во второй фазе вода поднимается только за счет грунтового потока.

09



Период фильтрации воды из водохранилища (т.е. длительность первой фазы течения) найдем из уравнения (18) при $q_{_{\rm R}}$ = 0 [5]:

$$T_0 = \left\lceil \frac{k \left(U_2 - U_1 \right)}{q_0 \sqrt{\pi a}} \right\rceil^2. \tag{23}$$

Примем в уравнении (10) $\varepsilon=0$, $u_e=U_2$ и x=b, где b – расстояние от бытового уреза реки до точки естественной кривой депрессии, имеющей отметку нормального подпертого горизонта (НПГ). Тогда, подставляя q_0 из уравнения (10) в (23), получим [5]:

$$T_0 = \frac{b^2}{\pi a} = \frac{\mu b^2}{\pi k h_s} \,, \tag{24}$$

где h_{s} — осредненная глубина потока, μ , k — соответственно пористость и коэффициент фильтрации водоносных грунтов.

Определим далее максимальное удаление оси фильтрационной ложбины от уреза водохранилища x_s . Для этого в уравнении (15) примем q=0, $x=x_s$, возьмем ее производную по вре-

мени $\frac{\partial x_s}{\partial t}$ и, приравняв ее нулю, найдем [5]:

$$x_{s} = \sqrt{2at} . ag{25}$$

Подставив значение t из уравнения (25) в уравнение (15), при (q=0 и $x=x_{\rm s}$), получим [5]:

$$x_{s} = -\frac{q_{0}}{2\varepsilon} + \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{q_{0}}{\varepsilon}\right)^{2} - \frac{2k(U_{2} - U_{1})}{\varepsilon\sqrt{2\pi e}} 2at} \cdot (26)$$

Для случая ε =0 из уравнения (26) найдем

$$x_{s} = -\frac{k \cdot (U_{2} - U_{1})}{q_{0}} + \sqrt{\frac{2}{\pi e}} . \tag{27}$$

Согласно уравнению (10), величина (U_2 – U_1) может быть выражена таким образом:

$$U_2 - U_1 = -\frac{q_0}{k} \cdot b \ , \tag{28}$$

где b — расстояние от бытового уреза реки до точки пересечения горизонтальной плоскости подпора с естественным уровнем грунтовой воды.

В уравнение (27) подставим значение из (28), тогда окончательно получим [5]:

$$x_s = -\frac{c b}{\sqrt{2\pi e}} = 0.49 b$$
 (29)

Отсюда следует, что в процессе неустановившегося движения грунтовых вод вблизи водохранилища ось фильтрационной ложбины удаляется от уреза водохранилища не более чем на 0.5b [5].

Результаты исследований. На примере водохранилища «Новое» были определены подпор грунтовых вод и изменение уровня грунтового потока для различных моментов времени. Для определения подпора грунтовых вод и потерь на фильтрацию из водохранилища необходимо при заданных начальных и граничных условиях проинтегрировать основное дифференциальное уравнение неустановившегося движения подземных вод.

Выбираем второй способ линеаризации, тогда в расчетных зависимостях следует принимать $U=0.5h^2$, где U — напорная функция в любой точке пласта; h — напор, измеряемый от подошвы толщи; $U_e=0.5h_e^2$, где h_e —глубина потока для времени t=0.

Средняя глубина потока определяется по формуле

$$h_{s} = 0.5(H_{\text{max}} - H_{\text{min}}) \cdot \beta, \tag{30}$$

где β — коэффициент, зависящий от отношения H_{\min}/H_{\max} ; H_{\max} , H_{\min} — максимальная и минимальная глубина потока на границах пласта.

На основании исходных данных модуль подземного питания, равный скорости поступления воды в пласт через его подошву и свободную поверхность потока, составил 1,54 мм/год.

Естественный расход грунтового потока у реки на урезе воды (x = 0) равен 0,07м.

Расход на фильтрацию из водохранилища через 30 сут. после его наполнения определим по формуле:

$$q_{\scriptscriptstyle B} = \frac{k(u_2 - u_1)}{\sqrt{\pi \, a \, t}} = 0.5 \, \text{ m}^3/\text{cyt. Ha 1 m.}$$
 (31)

Так как $q_{\scriptscriptstyle B}$ больше 0, то вода вытекает из водохранилища (поток направлен в глубь берегового массива).

Потери на фильтрацию будут равны $28,87 \text{ m}^3/\text{м}$.

Соответственно длительность периода фильтрации воды из водохранилища составит 50 лет.

Для различных моментов времени и различных расстояниях от уреза воды в водохранилище были рассчитаны глубины грунтового потока. Результаты этих вычислений показаны на рисун-





ке в виде кривых депрессии для различных моментов времени.

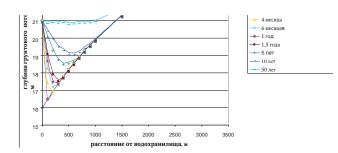
Подпор грунтовых вод в сечении x=1000 м составит z=1,13 м, для x=2000 м соответственно 0.08 м.

Из графика видно, что подъем грунтовых вод вблизи водохранилища при принятых характеристиках грунтов происходит крайне медленно. Так, на расстоянии 3 км от водохранилища он составит через 50 лет лишь 0,0026 м.

Заключение. Интенсивное использование водных ресурсов связано с созданием водохранилищ различных размеров, позволяющих накапливать воду в период избытка речного стока и использовать ее затем для выработки энергии, водоснабжения, орошения полей, повышения глубин рек в межень и др. [6-8]. В настоящее время все большее внимание уделяется созданию частных прудов, которые используются для рыборазведения и в качестве зон отдыха. В то же время создание водоемов может привести к подтоплению близлежащих территорий. На примере пруда «Новое» выявлено небольшое влияние подъема уровня грунтовых вод на окружающий ландшафт. Так, на расстоянии 3 км подъем составил лишь 0,0026 м через 50 лет эксплуатации водохранилища.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Михеева О.В., Колосова Н.М., Иванова З.П. Прогноз деформаций русла в створе плотины (на примере Чапаевского водохранилища Ершовского района Саратовской области) // Научное обозрение. 2013. N° 10. С. 38–42.
- 2. Михеева О.В., Орлова С.С., Панкова Т.А. Мониторинг состояния водоподпорных сооружений Саратовской области на примере Лебедевского водохранилища Краснокутского района // Фундаментальные и прикладные исследования: новое слово в науке: Междунар. науч.-практ. конф. М., 2013. С. 257–267.
- 3. Оценка уровня безопасности движения на автомобильных дорога / Н.М. Колосова [и др.] // Аграрный научный журнал. 2015. N° 3. C. 52–55.
- 4. *Панкова Т.А., Михеева О.В., Орлова С.С.* Исследование эксплуатационного состояния оросительных



Кривые уровней грунтового потока для различных моментов времени

каналов // Аграрный научный журнал. – 2015. – N^2 6. – C. 64–68.

- 5. Фильтрация из водохранилищ и прудов / С.В. Васильев [и др.]; под ред. Н.Н. Веригина. М.: Колос, 1975. 303 с.
 - 6. http://abratsev.ru/hydrosphere/lakes.html.
- 7. https://collectedpapers.com.ua/ru/the-role-of-water-reservoirs-in-the-change-of-environmental-conditions/vpliv-vodosxovishh-na-gruntovi-vodigrunti-ta-roslinnist.
- 8. http://www.cawater-info.net/library/rus/hist/shestakov.pdf.

Абдразаков Фярид Кинжаевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Михеева Ольга Валентиновна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Панкова Татьяна Анатольевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Орлова Светлана Сергеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Миркина Елена Николаевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Инженерные изыскания, природообустройство и водопользование», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60. Тел.: (8452) 74-96-59.

Ключевые слова: кривые свободной поверхности подземных вод; водохранилище; поток; плотина.

INVESTIGATION OF THE FORM OF CURVES OF FREE SURFACE OF UNDERGROUND WATER NEAR RESERVOIRS

Abdrazakov Fyarid Kinzhayevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the chair "Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Mikheeva Olga Valentinovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Pankova Tatiana Anatolyevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Orlova Svetlana Sergeevna, Candidate of Technical Sci-

ences, Associate Professor of the chair "Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Mirkina Elena Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Engineering Survey, Environmental Management and Water Use", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Keywords: curves of a free surface of groundwater; reservoir; stream; dam.

A study was made of the change in the supply of groundwater over time and at a different distance from the reservoir from the time it was filled to the period of complete stabilization of the flow.



