

*Куделина И.В.*

**ЖАРЫМ АРИДДИК КЛИМАТТЫН ШАРТТАРЫНДА  
АЛЛЮВИАЛДУУ СУУ ТОПТОГУЧТАРДЫН РЕЖИМИН  
ТУРУКТАШТЫРУУНУН ЖОЛДОРУ**

*Куделина И.В.*

**ПУТИ СТАБИЛИЗАЦИИ РЕЖИМА  
АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ВОДОЗАБОРОВ В УСЛОВИЯХ  
ПОЛУАРИДНОГО КЛИМАТА**

*I.V. Kudelina*

**WAYS OF THE ALLUVIAL WATER  
RESERVOIRS REGIME STABILIZATION IN THE SEMIARID  
CLIMATE CONDITIONS**

УДК: 556.182: 628.11 (470.56)

*Жер алдындагы суулардын запастарын толтуруу жана суу алуучу скважиналардын өндүрүмдүүлүгүн өстүрүү үчүн чакан капиталдык суу-топтогучтардын каскадына суу ташкындардын сууларын жарым-жартылай аккумуляциялоо менен комплекстүү токой мелиорациялоо иш-чараларын жүргүзүү жолу менен Урал дарыясынын бассейнинин суусу аз райондорундагы суу ресурстарынын тартыштыгын жеңүүгө болот.*

**Негизги сөздөр:** минералдаштыруу, суу топтоо, капиталдык суу-топтогучтар, деңгээлдик режим, жер алдындагы суулардын запастары, инфильтрация.

*Дефицит водных ресурсов в маловодных районах бассейна р. Урал, возможно преодолеть путем осуществления комплексных лесомелиоративных мероприятий с частичной аккумуляцией паводковых вод каскадом небольших капитальных водонакопителей для восполнения запасов подземных вод и роста производительности водозаборных скважин.*

**Ключевые слова:** минерализация, водозабор, капитальные водонакопители, уровенный режим, запасы подземных вод, инфильтрация.

*Deficiency of water resources in low-water areas of the basin can be overcome by implementing complex forest reclamation measures with partial accumulation of floodwaters by cascading small capital water reservoirs to replenish underground water reserves and increase the productivity of water intake wells.*

**Key words:** mineralization, water intake, capital water reservoirs, level regime, underground water reserves, infiltration.

Оренбургская городская агломерация, расположена в условиях сухой степи и в бассейне среднего течения р. Урал. Климат здесь полуаридный с количеством осадков в 2-3 раза меньше испаряемости [3, 4].

Аллювиальные и речные воды взаимосвязаны. По классификации Н.С. Курнакова-М.Г. Валяшко и те и другие относятся к сульфатно-натриевому типу

и играют основную роль при водоснабжении населения [2].

Инфильтрационные аллювиальные водозаборы расположены в поймах Урала и Сакмары. Уровенный режим в водозаборных скважинах зависит от положения уровня в реках. В периоды межени уровень воды снижается и в реках и в водозаборных скважинах.

Общий объем воды аллювиального водоносного горизонта, по Б.И. Куделину, мы рассчитываем по [1]:

$$V_e = w_0 \cdot V_1, \quad (1)$$

где  $w_0$  – полная влагоемкость,  $V_1$  – объем горизонта,  $V_e$  – естественные запасы подземных вод. Баланс подземных вод – это соотношение количества расходов и поступающих к водозабору подземных вод [3].

Приток вод, восполняющий запасы этого горизонта, относим к приходной статье баланса, питающей водоносный горизонт. Отток или забор подземных вод из этого горизонта относим к расходной статье баланса. Поступает вода в блок гидросферы, питающий водозабор за счет инфильтрации талых, дождевых и производственных вод, утечек из коммуникаций и за счет конденсации влаги, а также за счет подтока вод с соседних участков и из водоносных горизонтов. Расход воды из питающего водозабор горизонта происходит так же за счет испарения и транспирации воды, оттока в смежные водоносные горизонты, дренажа другими водозаборами и пр. В замкнутом бассейне приходные статьи баланса (А) – это атмосферные осадки (Х), конденсация водных паров (К) и притоки подземных вод (Р):

$$A = X + K + P \quad (2)$$

Расход воды (В) осуществляется за счет испарения (Z), поверхностного (V), и подземного стока (f):

$$B = V + Z + f \quad (3)$$

Общий объем влаги в засуху и расход воды ( $B$ ) значительно меньше, чем во влажные годы, а во влажные годы картина меняется на обратную. В замкнутом бассейне общее уравнение годового водного баланса выглядит так:

$$X + K + P = V + Z + f \pm \Delta W \quad (4)$$

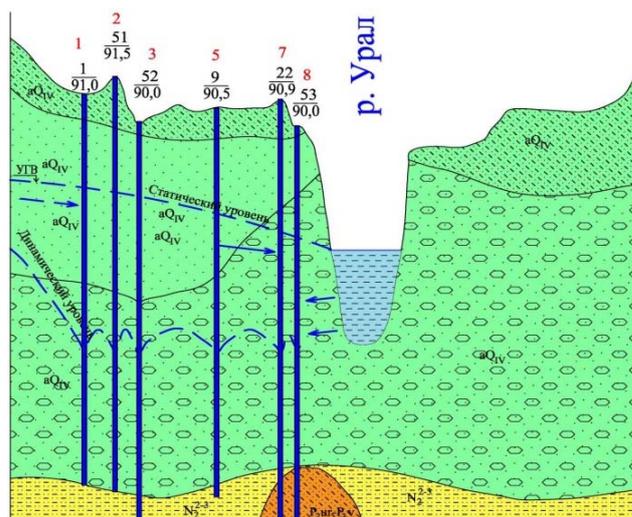
где  $+\Delta W$  и  $-\Delta W$  – годовое накопление или расходование влаги.

Сопоставление прихода и расхода воды для ограниченной площади за определенный период времени [3] оценивается при помощи уравнения водного баланса в пределах балансового участка или площади, где элементы водного баланса определяются при помощи специальных приборов. Во времени изучаются закономерные изменения глубины залегания и напоров, скорости, производительности и ресурсов, минерализации, температуры и химического состава подземных вод под влиянием техногенных и природных факторов: ландшафтно-климатических, гидрологических, структурно-геологических и палеогидрогеологических. Выполняются режимные гидрогеологические, метеорологические, гидрологические, геотермические наблюдения по сети режимных скважин [6].

Ковалевский В.С. [5] отметил, что на режим подземных вод влияют экзогенные (космические, метеорологические, гидрологические, биогенные, искусственные и геологические) и эндогенные (только геологические) факторы. Из метеорологических факторов важнейшими являются атмосферные осадки, температура и влажность воздуха; из гидрологических – режим вод в реках и озерах; а из биогенных – воздействие на воды растительности и живых организмов. Геологические факторы сводятся к влиянию на воды эрозии и денудации, эндогенных геологических явлений (тектонических и неотектонических движений, эпейрогенических колебаний земной коры, землетрясения).

Летняя межень соответствует самой жаркой поре, когда потребность в воде резко возрастает, а уровень воды в реках и в аллювиальном водоносном горизонте значительно снижается (рис. 1).

При завышенном водоотборе истощается аллювиальный водоносный горизонт, и к водозаборам подтягиваются воды из смежных водоносных горизонтов и комплексов. Происходит подток вод содового типа из пермских отложений, оконтуривающих речные долины. Из переуглубленных участков речных долин поступают соленые воды, образовавшиеся при размыве соляных куполов. В долинах рек имеется немало источников загрязнения, формирующих воды хлоридно-магниевого подтипа с повышенной жесткостью и минерализацией.



**Рис. 1.** Схема взаимосвязи водоносного аллювиального горизонта с речными водами в период межени. Литологический состав пород: 1 – суглинок; 2 – песок; 3 – галечник; 4 – глина. Направление движения вод: 6 - при естественном режиме; 7 – при работе водозабора; 8 - уровень грунтовых вод.

Условные обозначения:

 $aQ_{IV}$	- 1	 $aQ_{IV}$	- 3	 $P_2 \text{ и } P_3$	- 5	 УГВ	- 8
 $aQ_{IV}$	- 2	 $N_2^{2-3}$	- 4		- 6		- 7

В паводки интенсивно восполняются запасы вод аллювиального водоносного горизонта, и он частично отмывается от загрязнения (рис. 2).

Это свидетельствует о возможности стабилизировать ситуацию за счет восполнения запасов подземных вод. Максимальный подъем уровня воды р.Урал у Оренбурга зафиксирован в 1942 г. и составил 842 см, а в среднем ежегодно амплитуда изменения уровня воды в Урале составляет 460 см. Разница статического и динамического уровней водозаборных скважин еще значительно больше (рис. 1 и 2). Если построить на Урале каскад небольших плотин с подъемом уровня воды в реке всего на 3 м, то высокая пойма не будет залита, но уже при таком небольшом подъеме уровня в реке можно существенно поднять уровень и стабилизировать работу скважин инфильтрационных водозаборов. При подъеме уровня воды в реке и водозаборных скважинах за счет речной воды будет осуществляться восполнение запасов подземных вод. Создание водоемов-накопителей за счет аккумуляции небольшой части паводковых вод не только стабилизирует производительность и режим работы водозаборов, но и улучшит качество их вод. Об этом свидетельствуют результаты режимных наблюдений на многих объектах [7].

В соответствии с законом Дарси объем воды  $Q$ , фильтрующейся через породу за единицу времени,

пропорционален коэффициенту фильтрации  $K_{\phi}$ . Этот коэффициент зависит от проницаемости породы, гидравлического градиента  $I = \Delta h/L$  и площади поперечного сечения породы  $F$ :

$$Q = K_{\phi} \cdot F \cdot \frac{\Delta h}{L} = K_{\phi} \cdot F \cdot I, \quad (5)$$

где  $Q$  – количество фильтрующейся воды (расход) в единицу времени,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;  $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации,  $\text{м}/\text{сут}$ ;  $F$  – площадь поперечного сечения потока,  $\text{м}^2$ ;  $\Delta h$  – разность напоров в двух рассматриваемых сечениях,  $\text{м}$ ;  $L$  – длина пути фильтрации,  $\text{м}$ ;  $I = \Delta h/L$  – гидравлический градиент, в долях единицы.

Для участка Ивановского водозабора нами были проведены следующие расчеты. За исходные параметры взяты данные подсчета запасов подземных вод в пределах Ивановского водозабора [3]. Количество воды, фильтрующейся через поперечное сечение за единицу времени в меженный период от реки Урал к водозабору составило:

$$Q_1 = K_{\phi} \cdot F_1 \cdot \frac{\Delta H}{L} = K_{\phi} \cdot F_1 \cdot I = 422 \cdot 17000 \cdot 0,0013 = 9326 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

где  $K_{\phi} = 422 \text{ м} / \text{сут}$

$$F_1 = l \cdot h_1 = 2500 \cdot 6,8 = 17000 \text{ м}^2$$

$$I = \frac{\Delta H}{L} = \frac{H_1 - H_2}{L} = \frac{85,3 - 84,5}{600} = 0,0013$$

где  $h_1 = 6,8 \text{ м}$  – мощность водоносного горизонта;  $l = 2500 \text{ м}$  – ширина участка Ивановского водозабора;  $H_1 = 85,3 \text{ м}$  и  $H_2 = 84,5 \text{ м}$  – отметки гидроизогипс в пределах Ивановского водозабора;  $L = 600 \text{ м}$  – расстояние между гидроизогипсами.

Количество воды, фильтрующейся через поперечное сечение за единицу времени после строительства капитальных водо-накопителей составило:

$$Q_2 = K_{\phi} \cdot F_2 \cdot \frac{\Delta H}{L} = K_{\phi} \cdot F_2 \cdot I = 422 \cdot 24500 \cdot 0,0013 = 13440 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

где  $K_{\phi} = 422 \text{ м}/\text{сут}$

$$F_2 = l \cdot h_2 = 2500 \cdot 9,8 = 24500 \text{ м}^2$$

$$I = \frac{\Delta H}{L} = 0,0013$$

где  $h_2 = 9,8 \text{ м}$  – мощность водоносного пласта после строительства плотин.

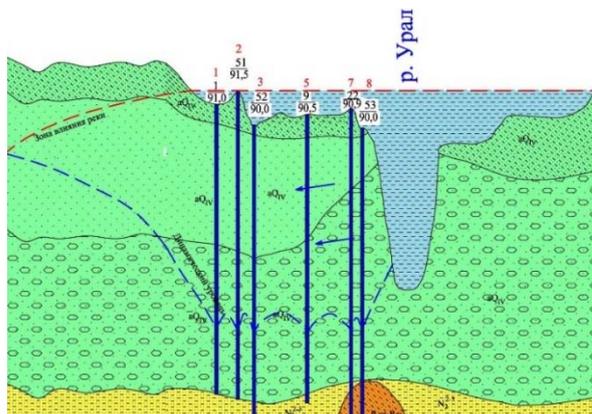


Рис. 2. Схема взаимосвязи вод аллювиального горизонта с речными водами в период паводка с формированием зоны влияния реки на подземные воды (условные обозначения на рисунке 1).

Горизонт грунтовых вод имеет свободную поверхность.

Таблица 1

Исходные гидрогеологические параметры Ивановского водозабора для расчета объема воды, который может восполнить его эксплуатационные запасы

№	Наименование	Условное обозначение и единица измерения	Значение
1	2	3	4
1.	Мощность водоносного горизонта	h, м	6,88
2.	Коэффициент фильтрации	$K_{\phi}$ , м/сут	422,0
3.	Длина линейного ряда	l, м	2260
4.	Расстояние от ряда скважин до контура постоянного напора	L, м	68
5.	Расстояние между скважинами	λ, м	108
6.	Радиус скважины	r, м	0,15
7.	Средневзвешенный уклон	I	0,0013
8.	Допустимое понижение уровня	S <sub>доп</sub> , м	2,1

По Дюпюи-Форхгеймеру, расчет притоков воды ( $Q$ ) к совершенным скважинам, расположенным вблизи открытого водоема, выполнен по следующей формуле:

$$Q = 1,366 \cdot \frac{K_{\phi} \cdot (h^2 - h_d^2)}{\lg 2L - \lg r}, \quad (6)$$

где  $K_f$  – коэффициент фильтрации;  $h$  – мощность водоносного горизонта, м;  $h_d$  – динамический уровень воды в скважине, м;  $L$  – расстояние от скважины до водоема, м;  $r$  – радиус скважины, м. Для участка Ивановского водозабора в меженный период нами получены следующие значения дебита скважины:

$$Q_1 = 1,366 \cdot \frac{K_f \cdot (h_1^2 - h_d^2)}{\lg 2L - \lg r} = 1,366 \cdot \frac{422 \cdot (6,88^2 - 4,88^2)}{\lg 2 \cdot 68 - \lg 0,15} = 4785 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

где  $h_1$  – мощность водоносного пласта в меженный период, равная 6,88 м;  $h_d$  – динамический уровень воды в скважине,  $h_d = h_1 - S = 6,88 - 2,1 = 4,78$  м;  $S$  – максимально допустимое понижение уровня воды в скважинах без мероприятий по восполнению эксплуатационных запасов, по Ивановскому водозабору принято равным 2,1 м [3];  $L$  – расстояние от скважины до р. Урал,  $L = 68$  м.

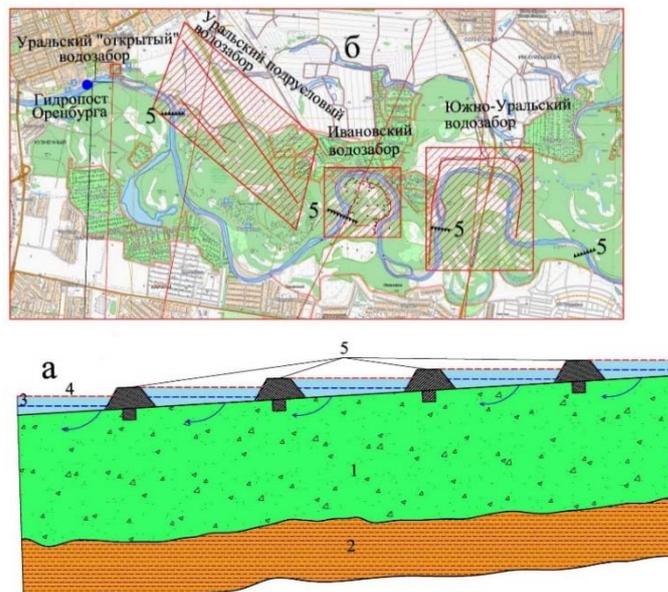
После строительства капитальных водо-накопителей мощность водоносного пласта и значения дебита скважин возрастают (рис. 3):

$$Q_2 = 1,366 \cdot \frac{K_f \cdot (h_2^2 - h_d^2)}{\lg 2L - \lg r} = 1,366 \cdot \frac{422 \cdot (9,88^2 - 7,78^2)}{\lg 2 \cdot 68 - \lg 0,15} = 7322 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

где  $h_2$  – мощность водоносного пласта после строительства капитальных водо-накопителей,  $h_2 = h_1 + 3,0 = 9,88$  м;  $h_d$  ( $h_2 - S = 9,88 - 2,1 = 7,78$  м) – динамический уровень воды в скважине;  $S$  – допустимое понижение уровня воды, равное 2,1 м [3];  $L$  – расстояние от скважины до р. Урал,  $L = 68$  м.

**Заключение.** Таким образом, забор воды на Ивановском участке после строительства капитальных водо-накопителей возможно не только увеличить в 1,5 раза, но и значительно стабилизировать качество воды. При подсчете запасов подземных вод на Ивановском участке специалистами гидрогеологами справедливо отмечены большие возможности по увеличению его производительности. К сожалению,

эти выводы не подкреплены данными по режиму изменений качества воды.



**Рис. 3.** Фрагмент участка долины р. Урал с водонакопителями, позволяющими частично аккумулировать паводковые воды, *а* – профиль; *б* – план: 1 – песчано-гравийно-галечниковые отложения; 2 – водоупорные породы; 3 – уровень воды в реке до и 4 – после строительства плотин; 5 – капитальные водонакопители.

Особенно это важно в меженные периоды, когда возможен, и в ряде случаев, установлен подток минерализованных вод из переуглубленных участков долины реки или загрязненных вод от техногенных объектов. После строительства каскада небольших капитальных плотин с подъемом уровня воды в реке и в аллювиальном водоносном горизонте на 3 м интенсивность водообмена подземных вод значительно возрастет, что исключит возможность подтока к водозабору некондиционных вод.

При этом значительно стабилизируются параметры водоемов, их ширина и глубина, улучшатся рекреационные условия Оренбургской городской агломерации, особенно при комплексировании водохозяйственного строительства с лесомелиоративными и рыбохозяйственными работами, развитием туристической инфраструктуры и строительством зон отдыха и защитных дамб на участках повышенного риска к затоплению. Но главным итогом такого проекта станет возможность питьевого и хозяйственного обеспечения Оренбургской городской агломерации на перспективу с ростом населения до 1 млн. человек за счет интенсификации существующих водозаборов и без строительства новых.

**Литература:**

1. Гавич И.К., Сборник задач по общей гидрогеологии: учебное пособие для вузов/ И.К. Гавич, А.А. Лучшева, С.М. Семенова-Ерофеева// 2-е изд., перераб. и дополн. - М.: Недра, 1985. - 412 с.
2. Гаев А.Я., Куделина И.В., Леонтьева Т.В. Проблемы гидросферы города Оренбурга и его окрестностей. Журнал Экология урбанизированных территорий, №3. 2013. - С. 28-36.
3. Геологоразведочные работы с подсчетом эксплуатационных запасов подземных вод на участке водозабора «Ивановский». Отчет с подсчетом запасов подземных вод на 01.10.2008. - Оренбург: ОАО «Компания вотемиро», 2009 г.
4. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Оренбургской области РФ за 2013г. Вып. 18. - Оренбург: ОАО «Компания вотемиро», 2014. - 148 с.
5. Ковалевский В.С. Исследования режима подземных вод в связи с их эксплуатацией. М., Недра, 1986.- 186 с.
6. Плотников, Н.И. Плотников, Н.А., Сычев, К.И. Гидрогеологические основы искусственного восполнения запасов подземных вод. - Москва: Недра, 1978. - 311с.
7. Системы мониторинга окружающей среды и недр нефтегазоносных территорий. - Оренбург: Оренбургское кн. изд., 2011 / Коллектив авторов: В.Г. Гацков, Н.Ф. Козлов, А.В. Лукиных и др. Всего 10 чел. 144 с.

**Рецензент: д.геол-мин.н., профессор Гаев А.Я.**

---