

УДК 556.388:504.5:628.16

Природные почвенные и гидрогеологические процессы и прогноз очищения грунтовых вод Барсуковского нефтяного месторождения

Н. А. Журавель, В. В. Коцур

Для оценки состояния грунтовых вод на Барсуковском нефтяном месторождении в апреле 1987 г. пробурено 42 наблюдательные скважины, а в 1988 г. проведены режимные наблюдения за уровнем и химическим составом [3]. Барсуковское месторождение расположено в пределах Малодушинской зоны нефтенакпления Припятской впадины, в 60 км юго-западнее г. Гомеля, в 28 км южнее г. Речица. Месторождение занимает площадь 5 x 4 км². Общее количество нефтяных скважин свыше 60. Наблюдательные гидрогеологические скважины расположены в центральной части Барсуковского месторождения на площади 5 км², вблизи с. Новый Барсук.

Пробурен 21 ярус скважин-пьезометров. Каждый ярус состоит из двух пластмассовых пьезометров диаметром 100 мм, удаленных друг от друга на расстояние 1 м. Короткие пьезометры длиной 1,7-3,5 м полностью перфорированы и обтянуты полиэтиленовой сеткой поверх проволоки. Они оборудовались на самую верхнюю часть грунтового водоносного горизонта и позволяли свободный доступ воды и нефти (пронумерованы 1н, 2н, 3н и т.д.). Более длинные пластмассовые пьезометры (1, 2, 3 и т.д.) имели стандартную длину 6,1 м, полиэтиленовый фильтр длиной 1,1-1,2 м и отстойник 0,7 м. Середина фильтра соответствует глубине 4,8 м. Применялось шнековое бурение из-за его стерильности. Пробы воды отбирались пробоотборником Симонова [3].

При бурении нескольких скважин-пьезометров встретилась краснобурая супесь с гравием и валунами, которая относится к днепровской морене (gIId). Максимальная ее мощность (11-12 м) установлена под поверхностью выравнивания с абсолютными отметками 133-135 м. Под мелиорированным болотом Тесано (абсолютные отметки 131,5-131,8 м) с молодыми болотными образованиями мощность днепровской морены уменьшается до 6 м из-за размыва.

Под верхней поверхностью выравнивания на морене залегают аллювиальные отложения (aIIIv₁) мощностью 4,5-6,0 м – бурые ожелезненные, желтые и светло-серые пески и супеси (пьезометры 7, 8, 9).

Болотные образования (hIV) вскрыты группой скважин под болотом Тесано. Их мощность меняется от 3 до 6 м.

Типичный разрез установлен по скважине 4 (рисунок 1): 0,0-0,6 м – торф; 0,6-2,0 м – супесь серая; 2,0-4,8 – песок светло-серый; 4,8-6,0 – супесь зеленого цвета. Известны три особенности болотных отложений: наличие торфа (неповсеместно); преобладание черного и зеленовато-серого цвета песка; наличие зеленой супеси в нижней части разреза, играющей роль относительного водоупора (скважины 20, 25, 19, 3, 4, 2, рисунок 1).

В октябре 1987 г. мощность зоны аэрации изменялась по площади от 0,7 м (скважина 25) до 4,15 м (скважина 21). Зона насыщения изучена до глубины 4,2 м ниже уровня грунтовых вод.

В 1988 г. проводились систематические замеры уровня в скважинах через 10 суток, а отборы проб воды на химический анализ осуществлялись 25.01.88 г, 12.04.88 г, 14.06.88 г, 14.09.88 г. В мелиоративном канале и р. Брагинка отбирались пробы воды 7.07.88 г, что дало возможность выделить и оценить качество грунтовых вод в I, II и III санитарно-защитных зонах Барсуковского месторождения. Наблюдения за уровнем грунтовых вод зафиксировали начало весеннего подъема уровня 3.03 – 21.03 (в разных скважинах) и конец 1.04 – 28.04. Подъем уровня весной составил 0,47-0,99 м.

В 1988 г. в результате исследований были составлены аналитические карты загрязненности грунтовых вод (хлор-ионом, нефтепродуктами, поверхностно-активными веществами и др.). В настоящее время целесообразно использовать патент № 6024 «Способ оценки степени загрязнения природной воды» и рассчитать своеобразный интегральный показатель – коэффициент загрязненности K_3 , определяемый по формуле [4]:

$$K_3 = \frac{M - [\text{HCO}_3^-]}{[\text{HCO}_3^-]}, \quad (1)$$

где M – минерализация воды в мг/л, $[\text{HCO}_3^-]$ – концентрация гидрокарбонат-иона, мг/л. Результаты расчетов отображены на карте (рисунок 1).

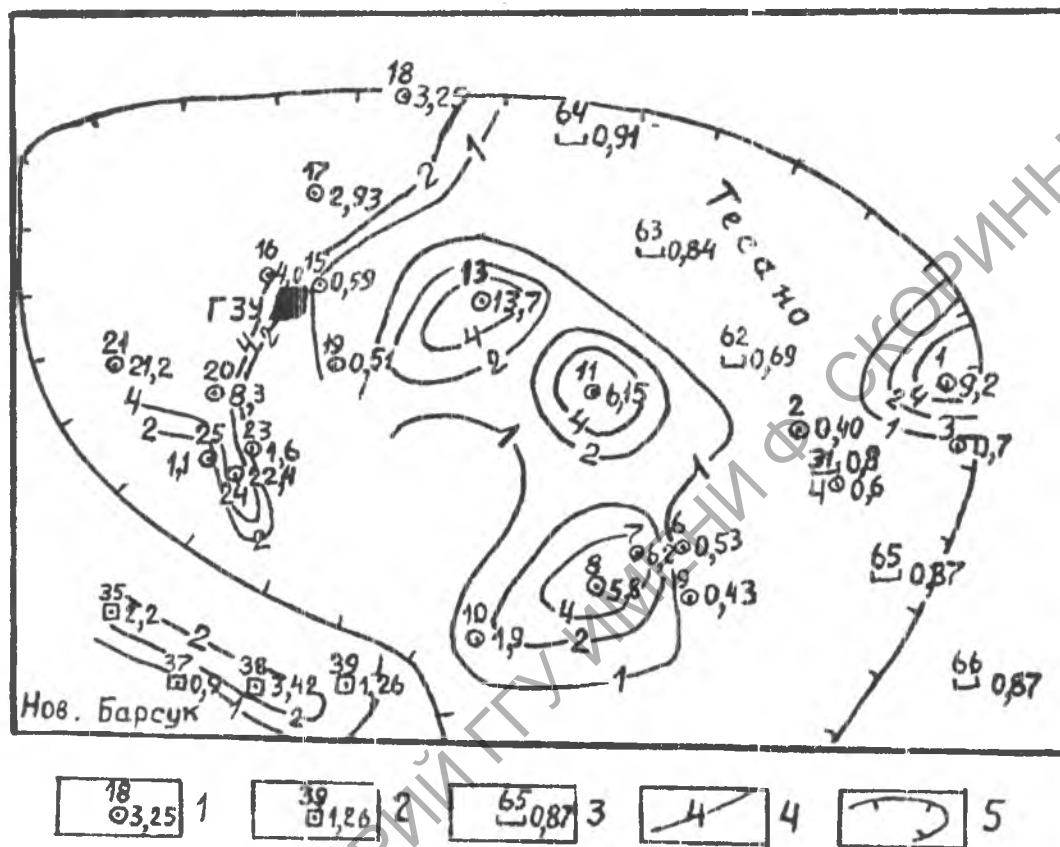


Рисунок 1 – Характеристика загрязненности грунтовых вод по коэффициенту загрязнения (K_3).

1 – наблюдательная скважина: сверху – ее номер, справа – величина K_3 ; 2 – колодец; 3 – створ на мелиоративном канале; 4 – изолиния величины K_3 ; 5 – контур нефтяного месторождения.

Применялась классификационная характеристика грунтовой воды по величине коэффициента загрязнения (таблица 1):

Таблица 1

Характеристика воды по величине K_3

K_3	Характеристика воды
$K_3 \leq 0,5$	– незагрязненная, гидрокарбонатного состава, пригодная
$1 > K_3 > 0,5$	– незагрязненная, смешанного анионного состава, пригодная
$2 > K_3 > 1$	– относительно незагрязненная, пригодная для хозяйственных нужд, но не для питья
$4 > K_3 > 2$	– техногенно-метаморфизованная, загрязненная, непригодная
$10 > K_3 > 4$	– техногенно-метаморфизованная, сильно загрязненная, непригодная
$K_3 > 10$	– техногенно-метаморфизованная, предельно загрязненная, непригодная

Из рисунка 1 видно, что коэффициент загрязненности грунтовых вод изменяется по площади от 0,43-0,53 до 22,4. Выделяется 4 площади по величине K_3 : 1) болото Тесано, $K_3 =$

0,43-0,91 – наилучшее качество грунтовой воды; 2) участок скважины 1, пробуренной на засыпанном амбаре нефтяной скважины. $K_3 = 9,2$, техногенно-метаморфизованная вода (минерализация 60300-54740 мг/л, рассол); 3) основная площадь загрязненных грунтовых вод вокруг эксплуатационных нефтяных скважин, с максимальными величинами $K_3 = 6,15-13,7-22,4$ техногенно-метаморфизованные грунтовые воды; 4) грунтовые воды колодцев с. Нов. Барсук с $K_3 = 0,87-3,42$ бытовое и сельскохозяйственное загрязнение.

Выделено три санитарно-защитные зоны: I зона – собственно нефтяное месторождение и болото Тесано (точки наблюдения 31, 62-66, рисунок 1); II зона – болото Тесано ниже нефтяного месторождения в направлении к р. Брагинка; III зона – долина р. Брагинка. По III санитарно-защитной зоне определены фоновые значения иона HCO_3^- (427 мг/л), минерализации М (715 мг/л) и коэффициента загрязнения $K_3 = 0,675$. Сравнивая с этими значениями данные рисунка 1, убеждаемся, что близкие значения к ним на нефтяном месторождении имеют створы канала на болоте Тесано (точки 31-68), где $K_3 = 0,69-0,97$ (в среднем 0,86) и всего несколько наблюдательных скважин (25н, 19, 15, 9, 3). Определим по ним концентрацию иона HCO_3^- и минерализацию, поступающие весной, в пик инфильтрационного питания, в водоносный горизонт из почвы и зоны аэрации (рисунок 2). Для этого используем известную в гидрологии и гидрогеологии формулу смешения потоков:

$$M_1Q_1 + M_2Q_2 = M_{\text{смеш.}}(Q_1 + Q_2), \quad (2)$$

где M_1, M_2 – величины минерализации, Q_1, Q_2 – расходы, $M_{\text{смеш.}}$ – минерализация в результате смешения потоков.

Можно использовать удельный расход потока грунтовых вод (при его ширине 1 м) и закон Дарси: $q = khJ$, где k – коэффициент фильтрации, h – мощность водоносного горизонта. J – градиент потока. При постоянстве k и J удельный расход q является функцией мощности водоносного горизонта h , поэтому формулу смешения можно использовать в виде:

$$M_{\text{зимн.}} h_{\text{зимн.}} + M_{\text{сверху}} (h_{\text{зимн.}} + \Delta h) = M_{\text{смеш.}} (h_{\text{зимн.}} + \Delta h), \quad (3)$$

$$\text{Откуда} \quad M_{\text{сверху}} = M_{\text{смеш.}} - M_{\text{зимн.}} \cdot \frac{h_{\text{зимн.}}}{h_{\text{зимн.}} + \Delta h} \quad (4)$$

Аналогичным образом:

$$C_{\text{сверху}} \text{HCO}_3^- = C_{\text{смеш.}} \text{HCO}_3^- - C_{\text{зимн.}} \text{HCO}_3^- \cdot \frac{h_{\text{зимн.}}}{h_{\text{зимн.}} + \Delta h} \quad (5)$$

$C_{\text{смеш.}} \text{HCO}_3^-$ и $M_{\text{смеш.}}$ – содержание HCO_3^- и минерализация в период весеннего инфильтрационного питания; $C_{\text{зимн.}} \text{HCO}_3^-$ и $M_{\text{зимн.}}$ – то же зимой; $h_{\text{зимн.}}$ – мощность водоносного горизонта зимой; Δh – подъем уровня весной; $h_{\text{зимн.}} + \Delta h$ – мощность водоносного горизонта весной (см. рисунок 2).

Зимние данные получаем по пробам воды, отобраным 25.01.88 г, $C_{\text{смеш.}} \text{HCO}_3^-$ и $M_{\text{смеш.}}$ – по химическим анализам проб, отобраным 12.04.88 г в пик инфильтрации. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

В урочище Тесано, в сравнительно благоприятной обстановке, весной в грунтовые воды поступает из почвы и зоны аэрации 123,0-152,0 мг/л иона HCO_3^- и 198,0-227,0 мг/л всех солей (скв. 3, 4, 6, 9); на собственно нефтяном месторождении этот процесс замедлен (скв. 15, 19, 25н): HCO_3^- поступает сверху 14,0-31,0 мг/л, а всего солей 36,0-100,0 мг/л.

Таблица 2 убедительно подтверждает роль почвы и пород зоны аэрации в формировании химического состава грунтовых вод: тающий снег весной имеет минерализацию 30-50 мг/л. Это, по сути дела, дистиллированная вода. Взаимодействуя с почвой, она минерализуется до 198-227 мг/л и смешивается с водой грунтового водоносного горизонта.

Таблица 2

Поступление сверху в грунтовый водоносный горизонт гидрокарбонат-иона и минерализации в пик инфильтрации

Но- мер сква- жины	Мощ- ность вод. гор. зимой $h_{зимн.}$, м	Подъем уровня в пик ин- фильтра- ции Δh , м	$C_{зимн.}$ $НСО_3^-$, мг/л	$C_{смеш.}$ $НСО_3^-$ весной, мг/л	$C_{сверху}$ $НСО_3^-$, мг/л	$M_{зимн.}$, мг/л	$M_{смеш.}$, мг/л	$M_{сверху}$, мг/л
3	3,50	0,49	506,3	549,0	152,0	770,0	790,0	198,0
4	3,30	0,57	640,5	671,0	123,0	930,0	1010,0	215,0
6	3,80	0,56	457,5	549,0	149,0	690,0	600,0	213,0
9	3,50	0,69	427,0	488,0	130,0	650,0	770,0	227,0
15	3,90	0,66	463,6	427,0	31,0	760,0	750,0	100,0
19	3,70	0,80	353,8	305,0	14,0	590,0	520,0	36,0
25н	2,32	0,67	292,8	244,0	16,0	610,0	560,0	83,0

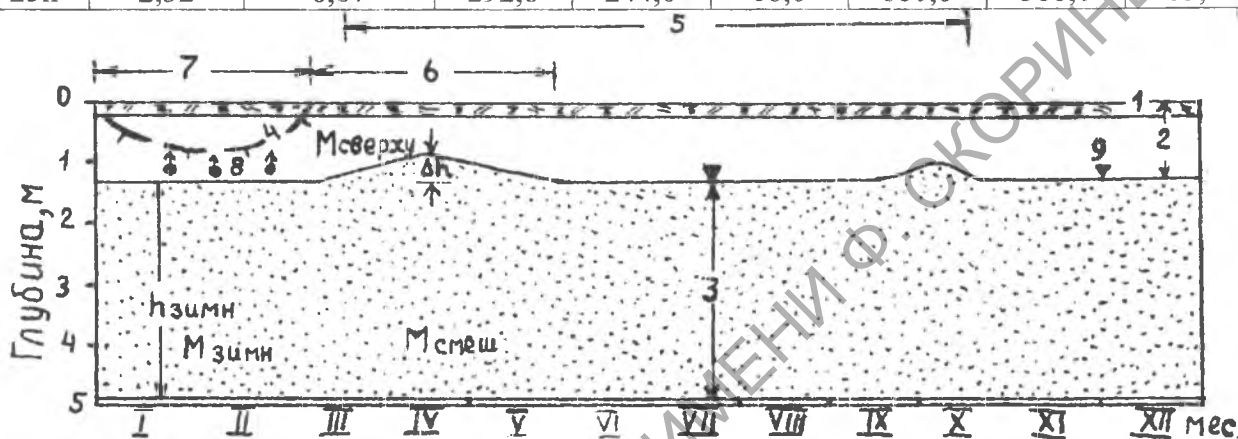


Рисунок 2 – Процессы в почве, зоне аэрации и грунтовом водоносном горизонте, формирующие химический состав грунтовых вод.

1 – почва; 2 – зона аэрации; 3 – грунтовый водоносный горизонт; 4 – подошва сезонномерзлых грунтов; 5 – период действия фотосинтеза; 6 – период весеннего инфильтрационного питания грунтовых вод; 7 – период зимнего промерзания, отжата вниз CO_2 и формирования ионов $НСО_3^-$ и Ca^{2+} ; 8 – перемещение пленочной, капиллярной и гравитационной влаги к фронту промерзания (подошве мерзлых пород); 9 – уровень грунтовых вод.

Оценим период водообмена $T_{вод.}$, подразумевая под водообменном процесс замены одной воды другой. Период водообмена – это отношение естественных запасов к естественным ресурсам. Естественные запасы можно характеризовать произведением $\mu \Delta h$, где μ – коэффициент водоотдачи. Естественные ресурсы (питание) равны $\mu \Delta h$ (см. рисунок 2). Допуская, что коэффициент водоотдачи одинаков в зоне аэрации и в водоносном горизонте, получаем период вертикального водообмена

$$T_{вод.} = \frac{h_{зимн.}}{\Delta h}, \text{ годы} \tag{6}$$

Период солеобмена или в данном случае период очищения грунтовых вод $T_{оч.}$ равен отношению количества солей в грунтовом водоносном горизонте, превышающего фоновое значение, к количеству солей, поступающих сверху из зоны аэрации весной:

$$T_{оч.} = \frac{h_{зимн.} (M_{зимн.} - M_{ф.})}{\Delta h \cdot M_{сверху}} = T_{вод.} \frac{(M_{зимн.} - M_{ф.})}{M_{сверху}}, \text{ годы} \tag{7}$$

где $M_{ф.}$ – фоновая минерализация грунтовых вод, принята по скважинам 6 и 9, где коэффициент загрязнения $K_z = 0,43-0,53$. $M_{ф.} = 650$ мг/л.

Расчеты по (6) и (7) приведены в таблице 3. Интересно сравнить данные таблицы 3 с картой (см. рисунок 1). Минимальные периоды очищения грунтовых вод отвечают наиболее низким величинам коэффициента загрязнения K_z . Можно сделать вывод, что участки располо-

жения наблюдательных скважин 9, 19 и 25н либо вообще не были загрязнены, либо за короткое время очистились. Грунтовые воды в скважинах 6, 3, 15 и 4 очистятся через несколько лет (если около них не будут буриться эксплуатационные нефтяные скважины). Из таблицы 3 и рисунка 1 следует, что мелиорированное болото Тесано, расположенное рядом с нефтяным месторождением, может засеиваться зерновыми и другими культурами колхозом им. Фрунзе.

Скважины 7-24 находятся вблизи буровых амбаров, период очищения грунтовых вод равен 94-785 лет (средний 273 года). Скважин 1 расположена на засыпанном и разровненном амбаре, период очищения 3350 лет. Совершенно очевидно, что источником загрязнения как грунтовых, так и напорных вод являются загрязняющие вещества в амбарах.

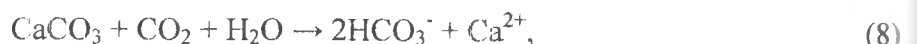
Таблица 3

Периоды нисходящего водообмена и очищения грунтовых вод, годы

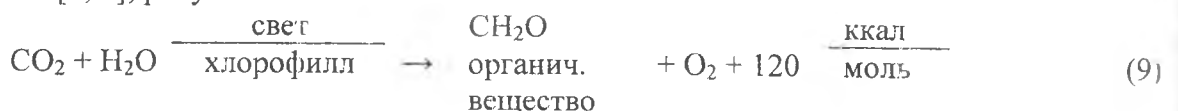
Скважина	h _{зимн.} , м	Δh, м	M _{зимн.} , мг/л	M _{сверху} , мг/л	T _{вод.} , годы	T _{оч.} , годы
3	2,20	0,66	770,0	198,0	3,34	2,0
4	3,30	0,57	930,0	215,0	5,80	7,6
6	3,80	0,56	690,0	213,0	6,80	1,3
9	3,50	0,69	650,0	227,0	5,08	0,0
15	3,90	0,80	760,0	100,0	5,91	6,5
19	3,70	0,80	590,0	36,0	4,62	0,0
25н	2,32	0,67	610,0	83,0	3,11	0,0
1	2,12	0,66	54740,0	73,0	4,55	3350,0
7	2,20	0,61	4370,0	73,0	4,55	171,0
11	3,20	0,73	6570,0	73,0	4,55	368,0
13	3,54	0,70	12100,0	73,0	4,55	785,0
16	3,74	0,66	2340,0	73,0	4,55	105,0
17	3,30	0,79	2160,0	73,0	4,55	94,0
18	2,73	0,99	4115,0	73,0	4,55	219,0
20	3,53	0,75	3240,0	73,0	4,55	162,0
21	0,70	0,81	4060,0	73,0	4,55	212,0
23	2,93	1,02	2520,0	73,0	4,55	116,0
24	1,46	0,79	8570,0	73,0	4,55	495,0

Условия Барсуковского месторождения идентичны гидрогеологическим условиям Гомельского химического завода, где под отвалами фосфогипса загрязнители проникли до глубины 40 м, в палеогеновый водоносный горизонт. Аналогичная судьба ждет палеогеновый водоносный горизонт Барсуковского месторождения, вода которого используется для водоснабжения с. Нов. Барсук и других населенных пунктов.

Рисунок 2 показывает взаимосвязь почвенных и гидрогеологических процессов. В январе происходит промерзание почвы и верхней части зоны аэрации, инфильтрация равна нулю. Газы (CO₂ и др.) отжимаются вниз, в непромерзшую часть зоны аэрации. Снизу к фронту промерзания движется пленочная, капиллярная и гравитационная вода (доказано мерзлотоведами). Взаимодействие газа, воды и породы приводит к образованию гидрокарбонат-иона и катиона:



причем CO₂ остался от предыдущего летнее-осеннего периода. С оттаиванием грунтов и началом весеннего инфильтрационного питания процесс формирования гидрокарбонат-иона и катиона может только усиливаться. Появление зеленой растительности дает начало процессу фотосинтеза [1, 2], рисунок 2:



Фотосинтез – образование высшими растениями, водорослями, бактериями сложных органических веществ из простых соединений (например, углекислого газа и воды) за счет

энергии света, поглощаемой хлорофиллом и другими фотосинтетическими пигментами [1, 2]. Реакция (9) фигурирует как основная в гидрогеологической и биологической литературе.

Реакция фотосинтеза начинается в кронах деревьев и листьях трав и заканчивается в почве и верхней части зоны аэрации. В результате гниения органические вещества (аминокислоты) распадаются в почве на мочевину H_2NCONH_2 , CO_2 и H_2O , причем концентрация углекислого газа в почвенном воздухе на несколько порядков выше, чем в атмосферном воздухе [1, 2], таблица 4.

Таблица 4

Сравнение состава воздуха атмосферы и почвы

Среда	Газы, %			
	N_2	O_2	Ar	CO_2
Атмосфера	78,09	20,95	0,93	0,03
Почва	0,1-20	78-80		0,1-15

Углекислый газ почвы участвует в реакции (8), в результате чего формируются пресные гидрокарбонатные кальциевые воды, грунтовые и напорные. При этом почва выступает как связующее звено между фотосинтезом и гидрогеологическим процессом – формированием ресурсов и химического состава подземных вод.

Рассмотрение почвенных и гидрогеологических процессов на Барсуковском нефтяном месторождении позволяет сделать ряд **выводов и предложений**: 1) способ оценки чистоты подземных вод по коэффициенту загрязнения K_z , вычисляемому по величине минерализации и гидрокарбонат-иону, применим и в сложных условиях, когда загрязняющих веществ несколько (соли, нефтепродукты, поверхностно-активные вещества и др.), поэтому коэффициент загрязнения K_z можно считать своеобразным интегральным показателем чистоты воды. Его целесообразно применять и на других нефтяных месторождениях; 2) режимные наблюдения за грунтовыми водами позволяют оценить периоды вертикального водообмена $T_{\text{вод}}$ и очищения $T_{\text{оч}}$ и рекомендовать для сельскохозяйственного использования площади с минимальными величинами $T_{\text{вод}}$ и $T_{\text{оч}}$ (урочище Тесано); 3) измерение уровня грунтовых вод следует проводить через 5 суток, а отбор проб воды на химический анализ – 6 раз в год: в январе, конце февраля, апреле, мае, августе, ноябре (см. рисунок 2).

Abstract. Natural soil and hydrogeological processes and the prediction of the purification of the subterranean waters of the Barsukovskoye oil field are presented in the paper

Литература

1. Большая Советская Энциклопедия: В 30 т. / Гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1971. – т. 5: Вешин – Газли. – 1971. – С. 252–253.
2. Большая Советская Энциклопедия: В 30 т. / Гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1971. – т. 20: Плата – Проб. – 1975. – С. 448.
3. Журавель Н.А. Составление программы и проведение наблюдений за направлением и скоростью движения грунтовых вод по сети наблюдательных скважин полигона. ХД-86-29, 1988, 278 с.
4. Журавель Н.А., Жогло В.Г., Иванов Ю.П., Кузьмицкая А.С. Патент № 6024. Способ оценки степени загрязнения природной воды, 2003. – 9 с.