



УДК 621.317.08

**Н.Н. Акимбекова, Н.Р. Жолмагамбетов, Н.А. Медеубаев, А.Д. Нурғалиева,  
С.Р. Жолмагамбетов**

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ЗАКЛАДКЕ  
ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА**

*Закладка выработанного пространства в качестве меры защиты охраняемых объектов на подрабатываемых территориях и уменьшения деформаций поверхности земли имеет актуальное значение. В данной статье установлены закономерности влияния усадки закладочного массива на определение эффективности мощности пласта. Определено влияние гидравлической закладки выработанного пространства на величины сдвижений и деформаций от вида закладочных материалов.*

*Өңделген кеңістікті толтырмалау жұмыс атқарылатын аумақтағы қорғалатын нысандарды сақтау шарасы ретінде және жердің үстіңгі қабатының деформациясының кішіреюі үлкен маңызға ие болып отыр. Аталған мақалада қыртыстың күштілігін анықтауда толтырмалау массивінің отыру әсерінің заңдылықтары қарастырылады. Толтырмалау материалының түрі бойынша деформация мен жылжу шамасы өңделген кеңістіктегі гидравликалық толтырым әсері анықталды.*

*The laying of the worked out space as a measure of objects protection in the mine worked territories and reduction of the earth's surface deformations has current importance. The regularities of the influence of shrinkage of the filling mass on the determination of the seam thickness are established in this paper. The influence of hydraulic laying of the worked out space on the values of displacements and deformations on the type of laying material is determined.*

Закладка выработанного пространства применяется для управления горным давлением, снижения потерь полезных ископаемых в недрах, выемки законсервированных охраняемых целиков, предотвращения подземных пожаров и внезапных выбросов угля и газа, уменьшения деформаций поверхности земли и охраны от разрушения объектов на подрабатываемых территориях, оставления в шахте породы от проходческих работ, повышения безопасности горных работ. В зависимости от полноты заполнения выработанного пространства его закладка может быть полной или частичной (в виде охраняемых полог при поддержании выработок).

В Карагандинском угольном бассейне закладка выработанного пространства в качестве меры защиты охраняемых объектов применялась с 1977 г. Краткая характеристика условий применения закладки выработанного пространства на шахтах бассейна приведена в таблице.

Предусмотренный методикой комплекс шахтных экспериментов и лабораторных испытаний являлся, по существу, опытной проверкой в натурных условиях рабочей гипотезы определения эффективной мощности пласта, согласно которой при отработке пологих пластов она может быть определена из выражения:

$$m_3 = m[1 - K_3(1 - \lambda)(1 - nR(f))] \quad (1) \quad (1.24)$$

или в виде

$$m_3 = h_1 + h_2 + h_3, \quad (2) \quad (1.25)$$

здесь:

$$h_1 = nmRf(t), \quad (3)$$

$$h_2 = (m - h_1)(1 - K_3), \quad (4)$$

$$h_3 = (m - h_1)\lambda K_3 \quad (5)$$

где  $h_1$  – величина опускания кровли в призабойном пространстве до возведения закладочного массива;  $h_2$  – величина опускания кровли над закладочным массивом за счет неполноты заполнения выработанного пространства;  $h_3$  – опускание кровли за счет усадки закладочного массива;  $n$  – коэффициент, имеющий размерность 1/м и характеризующий склонность пород кровли к обрушению (для пород легкообрушающихся  $n = 0,04$ , средней обрушаемости  $n = 0,025$ , труднообрушающихся  $n = 0,015$ );  $m$  – вынимаемая мощность пласта, м;  $R$  – ширина призабойного пространства;  $f(t)$  – функция влияния фактора времени;  $I$  – период времени с момента обнажения кровли до контакта с закладочным массивом, сут;  $K_3$  – коэффициент заполнения выработанного пространства;  $\lambda$  – коэффициент усадки закладочного материала в натуральных условиях.

*Горно-геологические и горно-технические условия отработки угольных пластов с закладкой выработанного пространства*

Лава, (год отработки)	Угол падения пласта, град.	Вынимаемая мощность пласта, м	Средняя глубина разработки, м	Размеры участка, м: длина лавы/длина столба	Способ закладки и вид закладочного материала
1	2	3	4	5	6
Шахта «Казахстанская»					
64к <sub>18</sub> , лава 1	8–10	1,55	460	50/210	Гидрозакладка, песчано-гравийная смесь
64к <sub>18</sub> , лава 2	8–10	1,55	460	120/210	То же
64к <sub>18</sub> , лава 3	8–9	1,55–1,6	460	140/190	–«–
64к <sub>18</sub> , лава 4	8–9	1,55	460	130/200	–«–
64к <sub>18</sub> , лава 5	9–10	1,55	455	120/260	–«–
61Бк <sub>18</sub>	8–12	1,55	390	130/560	–«–
67к <sub>18</sub>	13–14	1,55	445	110/210	–«–
65к <sub>18</sub>	10–11	1,55	455	130/230	–«–
12Ак <sub>13-3</sub> , 3–8	3–8	1,9	440	140/820	–«–
13Ак <sub>13-3</sub>	3–8	1,9	440	140/820	–«–
11к <sub>7-3</sub> ,	5–7	2,0	445	75/400	Гидрозакладка, зола ТЭЦ (выработанное пр-во и полости расслоения)
Шахта «Актаская»					
40к <sub>12-1в</sub>	8–16	2,6	410	140/950	Пневмозакладка, дробленая шахтная порода

Измерение конвергенции в призабойном пространстве проводилось стойкой СУИ–1У по профильным линиям (парные реперы в кровле и почве) по мере подвигания очистного забоя. Установлено, что наибольшие смещения перед закладкой выработанного пространства накапливаются в средней части лавы и составляют 266 мм при вынимаемой мощности пласта 1,55 м. Средняя величина конвергенции, приведенная к одному метру подвигания очистного забоя, составляет 37 мм, что близко к значению, рассчитанному по формуле (3), 40 мм.

Анализ измеренных смещений, показал, что функция влияния фактора времени с достаточной для практических целей точностью выражается в виде:

$$f(t) = 0,655 + 0,053t, \quad (6)$$

где  $t$  – промежуток времени с момента обнажения кровли до выполнения закладочных работ, сут.

Для определения в натурных условиях величины  $h_2$  (опускание кровли за счет неполноты заложения) регулярно производились измерения размеров пустот над закладочным массивом. Результаты замеров основных параметров пустот показали, что заполнение выработанного пространства характеризуется довольно высокой степенью ( $K_3 = 0,95$ ). При этом величина опускания кровли за счет неполноты заполнения выработанного пространства составляет в среднем 60–70 мм (при вынимаемой мощности пласта 1,55 м).

Для прогнозирования величины смещения  $h_3$ , обусловленного усадкой закладочного массива, проводились компрессионные испытания песчано–гравийной смеси в лабораторных условиях. Коэффициент усадки закладочного материала под давлением, соответствующем глубине разработки на экспериментальном участке, находится в пределах 0,08–0,12. При добавлении в песчано–гравийную смесь горелой или дробленой породы коэффициент усадки такого материала (шихты), как показали результаты испытаний, можно определять из выражения

$$\lambda = 0,12Q_1 + 0,36Q_2, \quad (7)$$

где  $Q_1$  – процентное содержание в шихте песчано–гравийной смеси;  $Q_2$  – процентное содержание горелой или дробленой породы.

Коэффициент усадки при давлении 15 мПа дробленой или горелой породы составляет 0,36, а золы ТЭЦ – 0,50.

Для определения усадки закладочного массива в натурных условиях производилось измерение давления с помощью датчиков струнного типа и сближения кровли с почвой посредством дистанционных стоек с датчиками реостатного типа. В качестве примера на рисунке показано нарастание сближения почвы–кровли (а), нагрузки (б) и усадки закладочного массива (в). Как видно из графиков, усадка закладочного массива соответствует диапазону разброса данных лабораторных испытаний усадки закладочного материала (см. рис., заштрихованная область). Поэтому в выражении (1) при расчете эффективной мощности можно использовать результаты лабораторного определения усадки закладочного материала.

Величины эффективной мощности пласта (лава № 1 и лава № 3 пласта  $K_{18}$ ), полученные путем суммирования измеренных сближений боковых пород в призабойном и заложённом выработанном пространстве (за счет оставляемых пустот и усадки массива), составили 504 и 478 мм. Рассчитанные по формуле (1) величины эффективной мощности пласта для условий отработки указанных лав составили 500 и 490 мм соответственно.

Сравнение расчетных и экспериментально полученных величин эффективной мощности пласта указывает на их хорошую сходимость и свидетельствует о правомерности использования выражения (1) для практических расчетов при выемке пологих угольных пластов с закладкой выработанного пространства.

Инструментальными наблюдениями за движением земной поверхности на участках отработки угольных пластов с закладкой выработанного пространства (см. табл.) установлено, что ожидаемые максимальные оседания, рассчитанные по нормативному документу для условий полного обрушения, хорошо согласуются с фактическими. Характер распределения сдвижений и деформаций при этом отличается от типового не более чем на 13%, что позволяет использовать при закладке выработанного пространства функции распределения, используемые при отработке пластов с полным обрушением кровли.

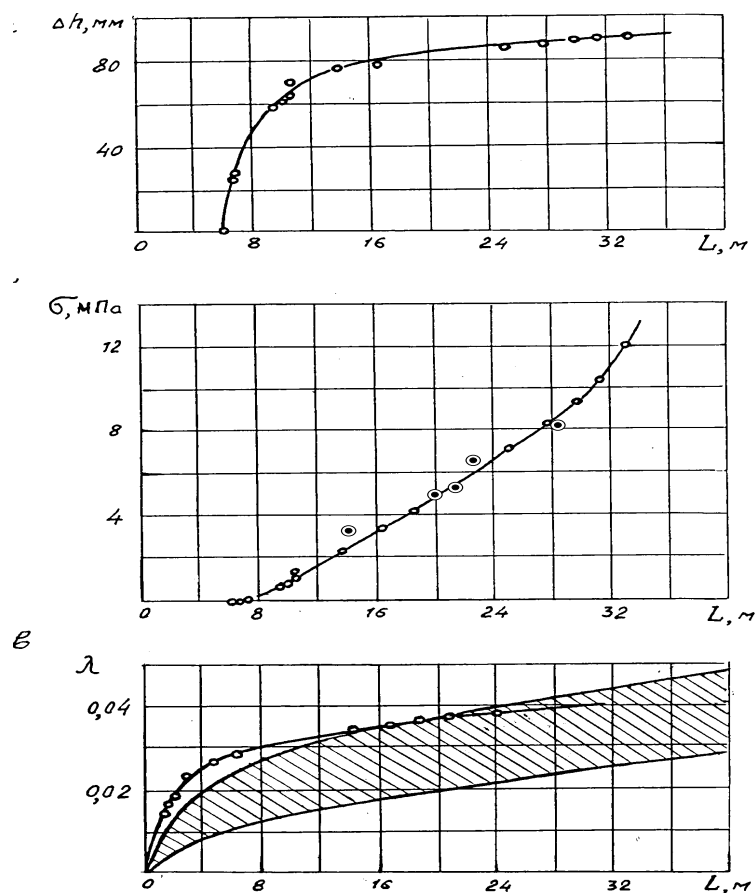


Рисунок - Графики усадки закладочного массива: а – конвергенция в массиве; б – давление на массив; в – усадка массива

Установлено, что гидравлическая закладка выработанного пространства снижает величины сдвижений и деформаций в 2,8–3,4 раза (песчано-гравийная смесь), а пневматическая – в 2,0–2,8 раза (дробленая шахтная порода).

При выемке пластов с закладкой выработанного пространства неравномерные составляющие деформаций на малых интервалах наблюдений имеют такие же отклонения, как и при ведении очистных работ с полным обрушением кровли.

#### Список литературы

1. Балафин И.Е. Анализ угловых параметров сдвижения земной поверхности на шахтах западного Донбасса // Научный вестник НГУ. – 2010. – № 4. – С. 27–29.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок в Карагандинском бассейне (Утверждены Министерством энергетики и природных ресурсов РК 24 сентября 1997 г.)
3. Трубочанинов А.Д. Оценка точности определения границ зон подработки для градостроительной документации / А.Д. Трубочанинов, Д.Н. Ветошкин // Маркшейдерский вестник. – 2007. – № 4. – С. 49–51.
4. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми объектами на угольных и сланцевых месторождениях. – М.: Недра, 1989. – 97 с.

Получено 13.08.2018

УДК 621.317.08

**Н.Н. Акимбекова, Н.Р. Жолмагамбетов, Н.А. Медеубаев, А.Д. Нургалиева,  
С.Р. Жолмагамбетов**

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ  
С ПОЛНЫМ ОБРУШЕНИЕМ КРОВЛИ**

*На основании проведенных теоретических исследований и анализа экспериментальных данных разработана методика расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности (метод типовых кривых), полученных при разработке угольных пластов сплошными и длинными столбами по простиранию с оставлением околоштрековых целиков.*

*Теориялық зерттеулерді жүргізу мен эксперименталды мәліметтерді сараптау негізінде күтілетін жылжулар әдістемесінің есебі әзірленді және айналмалы тіректердің ереуілдері бойынша ұзын қазықтар мен көмір пластарын әзірлеу кезіндегі алынған жер бетінің деформациясының есебі де жасалды.*

*Conducted theoretical research allowed authors to develop a methodology for calculating the expected displacements and deformations of the earth's surface obtained by the development of coal seams by entire and long drifts along the strike with the leaving of near-strike pillars.*

Определение закономерностей процесса сдвижения земной поверхности при подработке ее очистными выработками является одной из основных задач при отработке угольных пластов. Достоверный прогноз параметров сдвижения земной поверхности способствует успешному решению других, не менее важных, задач горного производства. К ним, кроме защиты объектов на земной поверхности, относятся выбор места расположения горных выработок и рациональных способов их охраны от влияния горного давления, прогноз газовыделения из подрабатываемых источников, обоснование рациональных схем проветривания выемочных участков, расчет несущей способности крепи и многое другое. При решении указанных задач существенное значение имеет установление динамики процесса сдвижения и выделение его характерных стадий. Общая продолжительность делится на три стадии: начальную, активную и стадию затухания.

При пологих углах падения, спокойном залегании и отсутствии крупных тектонических нарушений наиболее рациональным способом подготовки шахтного поля при раздельной или совместной разработке тонких, средней мощности и мощных пластов в большинстве случаев является этажный с длинными столбами по падению–восстанию с применением бесцеликовой технологии. Применяются следующие варианты отработки этажа: последовательная отработка одиночных столбов; отработка смежных столбов спаренными лавами с небольшим отставанием забоев; отработка пласта через столб с последующей выемкой оставленных столбов; отработка мощных пластов наклонными слоями с одновременной их выемкой и по способу «слой–пласт».

Высота этажа при этом достигает 800–1000 м, оптимальная длина лавы составляет 100–150 м. Перепад глубин по границам этажа может достигать 150–200 м, в результате чего степень подработанности земной поверхности в направлении простирания пласта при отработке одиночного столба может существенно изменяться по его длине. Кроме того, с увеличением глубины разработки вдоль столба изменяется состав пород подрабатываемой толщины, а направление выемки по падению приводит к тому, что к моменту начала формирования полумульды по падению процесс сдвижения в ней по восстанию находится в стадии затухания.

Разработанная для условий Карагандинского бассейна методика расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности (метод типовых кривых) основывается на

результатах натурных инструментальных наблюдений, полученных при разработке угольных пластов сплошными и длинными столбами по простиранию с оставлением окоштрековых целиков. Наличие последних приводит к образованию на земной поверхности «горбов» и неравномерному распределению сдвижений и деформаций. Над целиками оседание земной поверхности значительно меньше, чем над выработанным пространством соседних лав, что приводит к возрастанию кривизны земной поверхности и соответственно массива горных пород. Отработка пластов длинными столбами по бесцеликовой технологии, нашедшая широкое применение в бассейне, потребовала проведения специальных исследований по выявлению характерных особенностей процесса сдвижения земной поверхности.

Наблюдениями за сдвижением земной поверхности установлено, что при полной подработке способ разработки пластов не оказывает существенного влияния на угловые параметры процесса. В табл. 1 приведены средние (по 17 профильным линиям) значения угловых параметров, полученные при разработке пластов длинными столбами по падению на шахтах им. Ленина, «Гентекская», «Казахстанская» и «Стахановская», из которой видно, что фактические угловые параметры процесса сдвижения имеют хорошую сходимость со значениями нормативного документа [1].

При частичной (по простиранию) подработке углы сдвижения, построенные по фактическим данным на наблюдательной станции на шахте "Казахстанская", также имеют хорошую сходимость с расчетными (отклонение не более 12%). При этом углы разрывов, используемые для построения предохранительных целиков (опасных зон) под водные объекты, на  $7^\circ$  больше углов сдвижений. Схема определения исходных параметров процесса сдвижения земной поверхности при разработке пластов длинными столбами по падению представлена на рис. 1.

Таблица 1

*Угловые параметры процесса сдвижения при разработке пластов длинными столбами по падению (бесцеликовая технология)*

Показатели	Величины угловых параметров, градус			
	Средние фактические	по «Правилам...»	Отклонения	
			градус	%
углы сдвижения				
$\delta$	70,5	67,5	+3	4,4
$\beta$	69	70	-1	1,4
$\gamma$	79	70	+9	13
границные углы				
$\delta_0$	48	56,4	-8,4	15
$\beta_0$	62	60	+2	3,3
$\gamma_0$	56	60	-4	6,7
углы полных сдвижений				
$\Psi_1$	49	50	-1	0,5
$\Psi_2$	58	60	-2	3,3
$\Psi_3$	55	55	0	0
угол максимального оседания $\epsilon$	87,5	88	-0,5	0,6

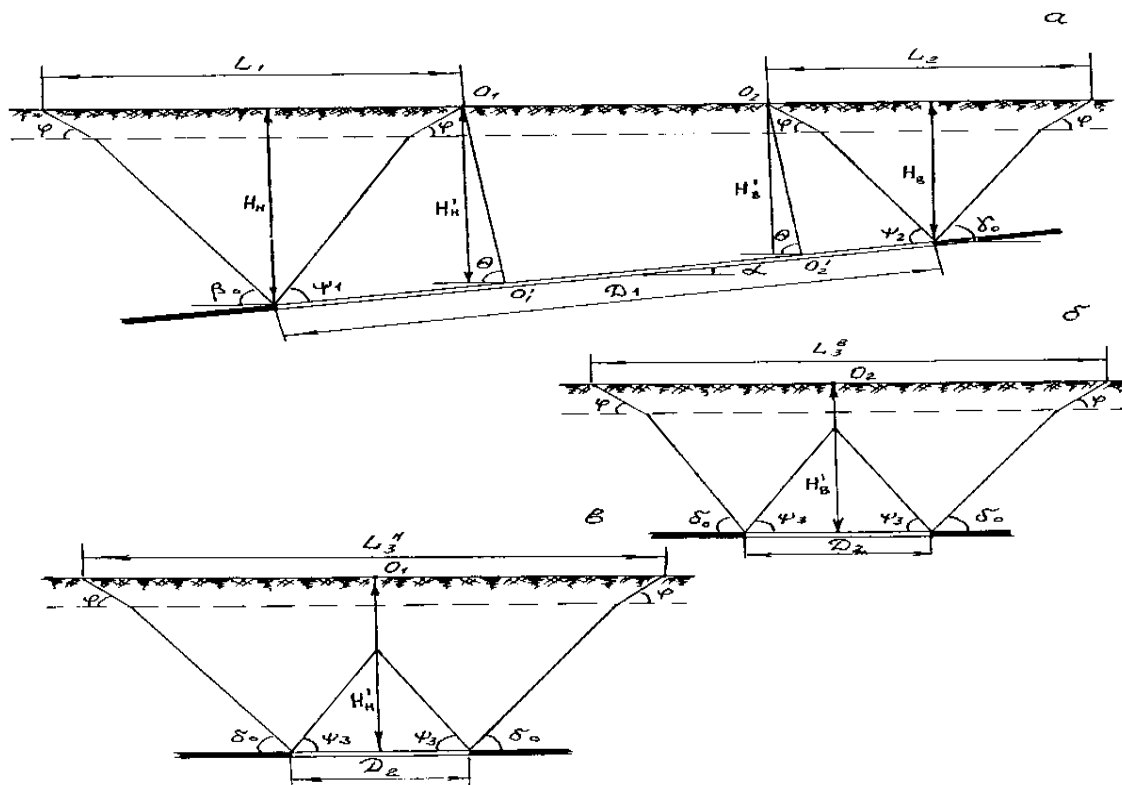


Рисунок 1 - Схема определения исходных параметров для расчета сдвижений и деформаций земной поверхности: а – в мульдe вкрест простирания; б – в мульдe по простиранию со стороны восстания; в – со стороны простирания

Таким образом, при разработке пластов длинными столбами по падению при бесцеликовой технологии расчет угловых параметров процесса сдвижения следует производить по действующим правилам [2].

Отличие процесса сдвижения земной поверхности при бесцеликовой технологии состоит, как показали результаты исследований, в большем проявлении сдвижений от последующих (за первой) очистных выработок. В этой связи корректировка существующего метода расчета должна базироваться на дифференцированном (в зависимости от способа разработки) расчете максимального оседания, которое является основой для дальнейших расчетов деформаций в мульдe сдвижения [3].

Для установления коэффициентов  $N_1$  и  $N_2$ , входящих в формулу расчета максимального оседания [3], проанализированы данные при малых коэффициентах подработанности на моделях из эквивалентных материалов и по профильным линиям для выработок в целике (рис. 2, а) и для присечных выработок (рис. 2, б):

$$\eta_m = q_0 m \cos \delta a N_1 N_2. \quad (1)$$

В результате анализа установлено, что коэффициенты  $N_1$ ,  $N_2$  для выработок в целике существенно отличаются от коэффициентов для присечных выработок. Коэффициенты  $N_1$ ,  $N_2$  для условий Карагандинского бассейна составляют следующие значения (длинные столбы по простиранию и по падению) (табл. 2).

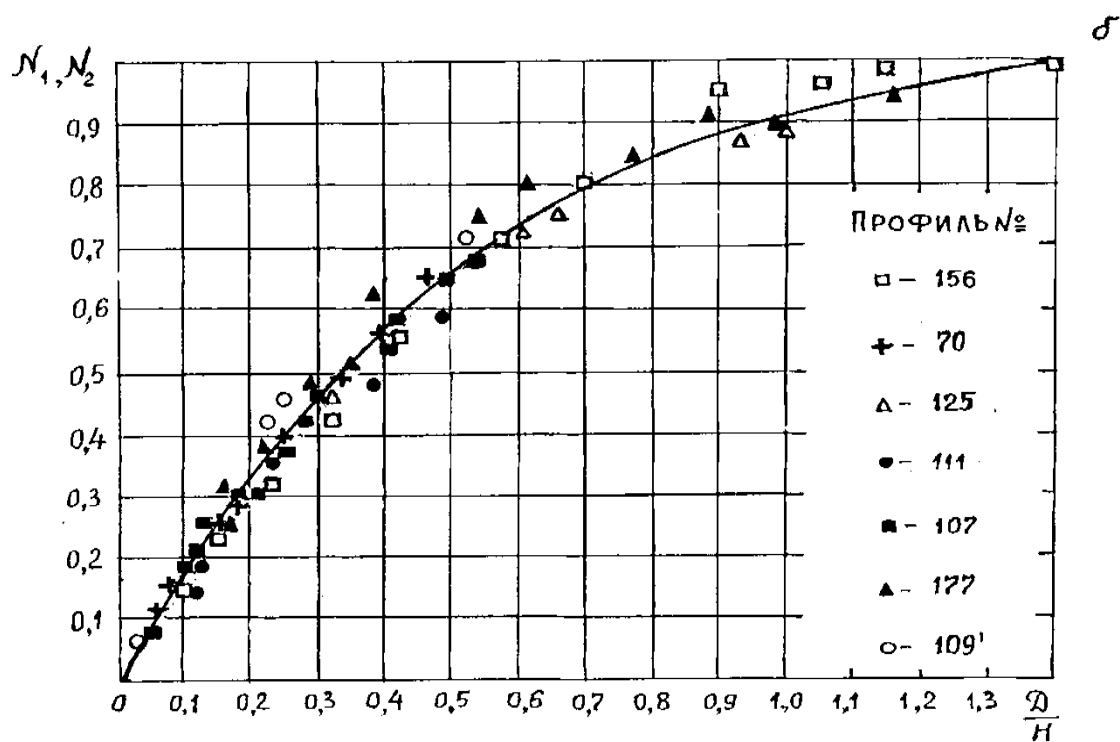
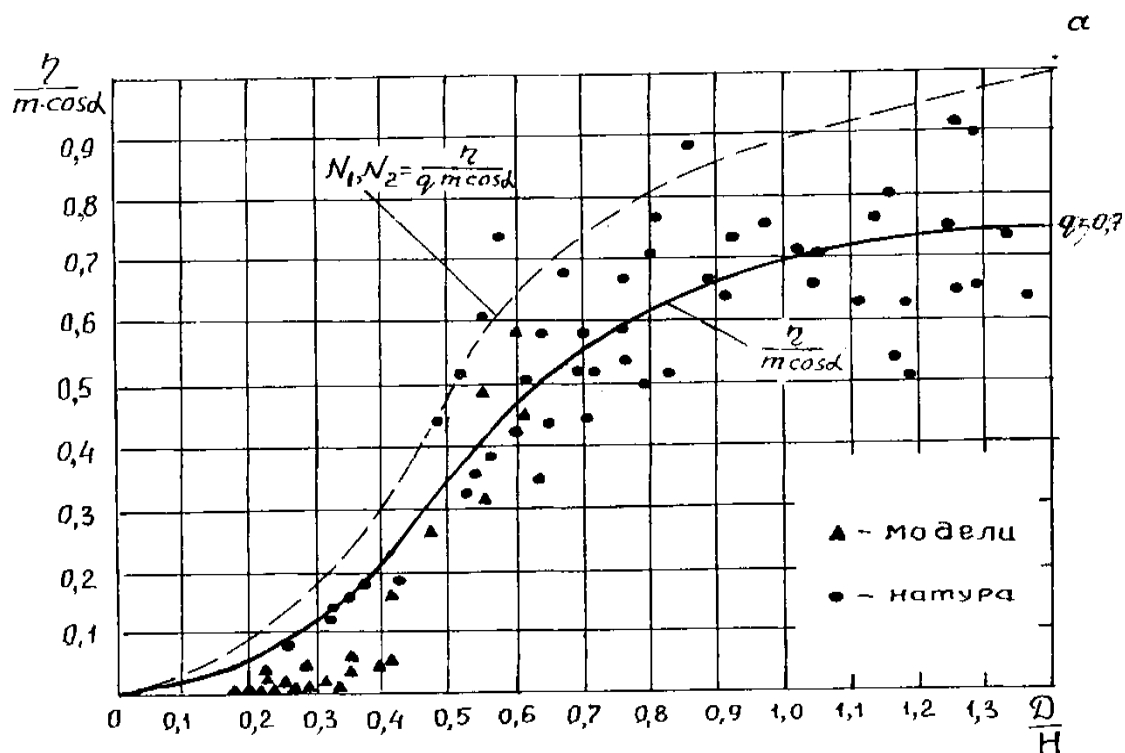


Рисунок 2- Графики зависимости коэффициентов  $N_1, N_2$  от  $D/H$ : а – для выработок в целике; б – для присечных выработок



Таблица 2

Коэффициенты  $N_1, N_2$ 

$\frac{\ddot{A}}{\dot{I}}$	1,4 и более	1,2	1,0	0,90	0,80	0,70
Выработка в целике						
$N_1, N_2$	1,0	0,96	0,90	0,86	0,81	0,75
Выработка вприсечку к выработанному пространству						
$N_1, N_2$	1,0	0,98	0,94	0,91	0,87	0,81
$\frac{\ddot{A}}{\dot{I}}$	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,15
Выработка в целике						
$N_1, N_2$	0,66	0,50	0,3	0,15	0,09	0,05
Выработка вприсечку к выработанному пространству						
$N_1, N_2$	0,75	0,66	0,56	0,44	0,30	0,22

Как видно из табл. 2 и рис. 2 а, б, коэффициенты  $N_1$  и  $N_2$  для выработок в целике и для присеченных выработок имеют существенные отличия при соотношении длины очистного забоя к глубине разработки менее 0,6. Наименьшие значения коэффициентов

$N_1$  и  $N_2$  (не более 0,1) отмечаются для выработок в целике при  $\frac{\ddot{A}}{\dot{I}} \leq 0,25$ , следовательно

максимальное оседание земной поверхности при этом не превышает 10% от оседания при полной подработке. При  $\ddot{A} \leq 0,25\dot{I}$  в массиве образуются полости расслоения с максимальным суммарным раскрытием до 80% от вынимаемой мощности пласта.

Особую актуальность учет зависания пород при малых коэффициентах подработанности приобретает для решения вопросов по оценке объемов пустот и содержащегося в выработанном пространстве свободного метана на полях погашенных шахт Карагандинского бассейна.

## Список литературы

1. Балафин И.Е. Анализ угловых параметров сдвижения земной поверхности на шахтах западного Донбасса // Научный вестник НГУ. – 2010. – № 4. – С. 27–29.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок в Карагандинском бассейне (Утверждены Министерством энергетики и природных ресурсов РК 24 сентября 1997 г.)
3. Трубочанинов А.Д. Оценка точности определения границ зон подработки для градостроительной документации / А.Д. Трубочанинов, Д.Н. Ветошкин // Маркшейдерский вестник. – 2007. – № 4. – С. 49–51.
4. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми объектами на угольных и сланцевых месторождениях. – М.: Недра, 1989. – 97 с.

Получено 13.08.2018

УДК 628:032

**Г.К. Даумова, Ю.Ф. Давыдов**Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск**ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА ОСВЕЩЕНИЯ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД**

*Предложено моделирование процесса осветления сточных вод для их реализации на производственных установках при соблюдении динамического подобия условий проведения эксперимента и эксплуатации реальных сооружений. На основе проведенных экспериментальных исследований обоснована кинетика осаждения взвешенных веществ и найдены рациональные параметры процесса осветления воды, что обеспечивает снижение содержания механических примесей в воде после ее очистки и уровня экологической опасности ее сброса в поверхностные водоемы.*

*Нақты ғимараттарды пайдалану және экспериментті жүргізу шарттарының динамикалық ұқсастығын сақтау кезіндегі өндірістік қондырғыларда жүзеге асыру үшін ағынды суларды мөлдірлету үдерісін модельдеу ұсынылған. Жүргізілген эксперименттік зерттеулер негізінде қалқымалы заттардың тұнуы негізделіп және жерүсті қоймаларына төгудің экологиялық қауіптілігінің деңгейі мен суды тазалаудан кейін механикалық қоспалардың мөлшерін төмендетуді қамтамасыз ететін суды мөлдірлету үдерісінің тиімді параметрлері анықталды.*

*The clarification process for their implementation at manufacture installation modeling is proposed, with observing dynamic similarity of experimental conditions and real constructions exploitation. Experimental studies based kinetics of suspended solids precipitation is evidence. The water clarification process rational parameters are found. All this ensures are decline of mechanical impurities content in the water, after its purification and environmental hazards level of discharge into surface waters decrease.*

**Ключевые слова:** сточные воды, осветление, моделирование, сорбенты, взвешенные вещества.

Процессы очистки хромсодержащих сточных вод являются сложными и многопараметровыми, так как зависят как от количественной и качественной характеристики очищаемых стоков, так и от особенностей способа очистки. Одним из наиболее перспективных методов глубокой очистки хромсодержащих сточных вод является сорбционная очистка природными сорбентами, которая позволяет свести к минимуму вред, причиняемый окружающей среде, дает возможность эффективной очистки стоков и незначительно сказывается на себестоимости продукции. Для снижения негативного влияния предприятий металлообрабатывающего и машиностроительного комплекса на состояние водного бассейна Восточного Казахстана был разработан способ сорбционной доочистки хромсодержащих сточных вод с применением пастообразных комплексных сорбентов на основе бентонитовых глин Таганского месторождения [1].

Количество хромсодержащих сточных вод, образуемых на АО «Усть-Каменогорский Арматурный завод» и прошедших предварительную очистку на станции нейтрализации с добавлением извести, составляет в среднем 4 м<sup>3</sup>/сут. Затем сточная вода насосом подается на вторую ступень очистки в аппарат с механическим перемешивающим устройством и туда же через дозатор поступает сорбент в виде суспензии. После чего приготовленный сорбент в виде суспензии с помощью дозатора подается на вторую ступень очистки в аппарат с механическим перемешивающим устройством, куда также подается насосом сточная вода после существующей первой ступени очистки на станции нейтрализации. Вторично очищенная вода самотеком поступает в вертикальные отстойники, где протекают процессы отстаивания хлопьев суспензии сорбента.

Для выбора типа и конструктивных размеров отстойных сооружений предлагается смоделировать процесс осветления, который описывается сложной многокритериальной зависимостью.

Полное критериальное уравнение, описывающее процесс отстаивания сточных вод по параметру эффекта очистки, имеет вид

$$\Theta = f(C_{\text{исх}}, C_{\text{оч}}, Q, t, \vartheta, \omega, d_{\zeta}, h_{\text{сл}}, D, \eta, \rho, T, R_e, Fr), \quad (1)$$

где  $C_{\text{исх}}$  и  $C_{\text{оч}}$  - концентрация взвешенных веществ в исходной и очищенной воде;  $Q$  - расход воды;  $t$  - время отстаивания;  $\vartheta$  - скорость движения воды;  $\omega$  - гидравлическая крупность частиц;  $d_{\zeta}$  - средневзвешенный диаметр частиц;  $h_{\text{сл}}$  - высота слоя воды;  $D$  - диаметр отстойника;  $\eta$  - вязкость воды;  $\rho$  - плотность воды;  $T$  - температура воды;  $R_e$  - критерий Рейнольдса;  $Fr$  - критерий Фруда.

По условиям моделирования движения воды определяющим критерием является число Фруда:

$$Fr = \frac{g^2}{Q * L}, \quad (2)$$

где  $L$  - длина отстойника, м.

Критерий Рейнольдса находится следующим образом:

$$Re = \frac{\nu * D}{g}. \quad (3)$$

При использовании на экспериментальной установке сточной воды того же состава, что и на производственных установках, а также соблюдая температурный режим процесса ( $T = \text{const}$  либо изменения температуры, аналогичные натурным колебаниям), уравнение (1) можно преобразовать в уравнение (4):

$$\Theta = f(Q, t, h_{\text{сл}}, D, R_e, Fr). \quad (4)$$

При проведении эксперимента в статических условиях, учитывая малую скорость движения воды в производственных сооружениях, уравнение (4) принимает следующий вид:

$$\Theta = f(t, h_{\text{сл}}, D, R_e, Fr). \quad (5)$$

Это значительно упрощает процесс изучения определяющих параметров.

Применение результатов модельных исследований для их реализации на производственных установках возможно лишь при соблюдении динамического подобия условий проведения эксперимента и эксплуатации реальных сооружений. В этом случае для схождения результатов по условиям (1), (4), (5) необходимо соблюдение условий (6):

$$\frac{t_m}{h_m} = \frac{t_n}{h_n} = \text{const}; \quad \frac{t_n}{t_m} = \left( \frac{h_n}{h_m} \right)^n, \quad (6)$$

где  $t_m$  и  $h_m$  - время осаждения и высота слоя воды на модельной установке отстойника;  $t_n$  и  $h_n$  - время осаждения и высота слоя воды на натурном отстойнике;  $n$  - показатель степени, зависящий от концентрации взвешенных веществ.

Поскольку процесс отстаивания сточных вод происходит в полидисперсной агрегативно-неустойчивой системе с большим диапазоном размеров частиц, которые в процессе осаждения агломерируются, изменяют свою форму, плотность и размеры, то кинетика процесса осаждения или всплывания грубодисперсных примесей сточных вод устанавливается опытным путем в лабораторных условиях.

Моделирование гидравлических явлений, связанное с проектированием реальных объемных сооружений, возможно лишь при применении ограниченного числа критериев, определяющих данный процесс, в том числе и процесс осаждения взвешенных частиц в замкнутом объеме. При этом выбранные критерии подобия удовлетворяют условиям изменения кинематического режима работы изучаемой системы, а также соответствуют

принципам выбора и расчета необходимых масштабов подобия. Для достижения высокой достоверности моделирования процессов осаждения сорбентов необходимо выполнение ряда ограничивающих условий: взвесь должна быть устойчивой, с гидравлической крупностью, отстаивание производится без применения коагулянта. При малых числах Рейнольдса, соответствующих малым скоростям поступательного движения потока в отстойниках, расчеты и моделирование по осаждению взвешенных частиц допускается проводить для неподвижной жидкости, в том числе в стеклянных цилиндрах ограниченного объема [2].

Во время экспериментальных исследований было выявлено, что после станции нейтрализации и 3-часового контакта сорбента с обрабатываемой водой вода была мутная, с содержанием взвешенных веществ  $1710\text{--}1800\text{ мг/дм}^3$  из-за глинистых частиц. По стандартной методике было определено содержание взвешенных веществ [3]. Сточную воду, смешанную с сорбентом, в течение трех часов отстаивали в литровых цилиндрах.

После определенного времени отстаивания отбирались пробы воды для определения содержания взвешенных веществ. Одновременно производили замеры по количеству осевшего осадка. Анализы проводили при разных соотношениях Т:Ж (твердое:жидкое) и времени отстаивания (рис. 1).

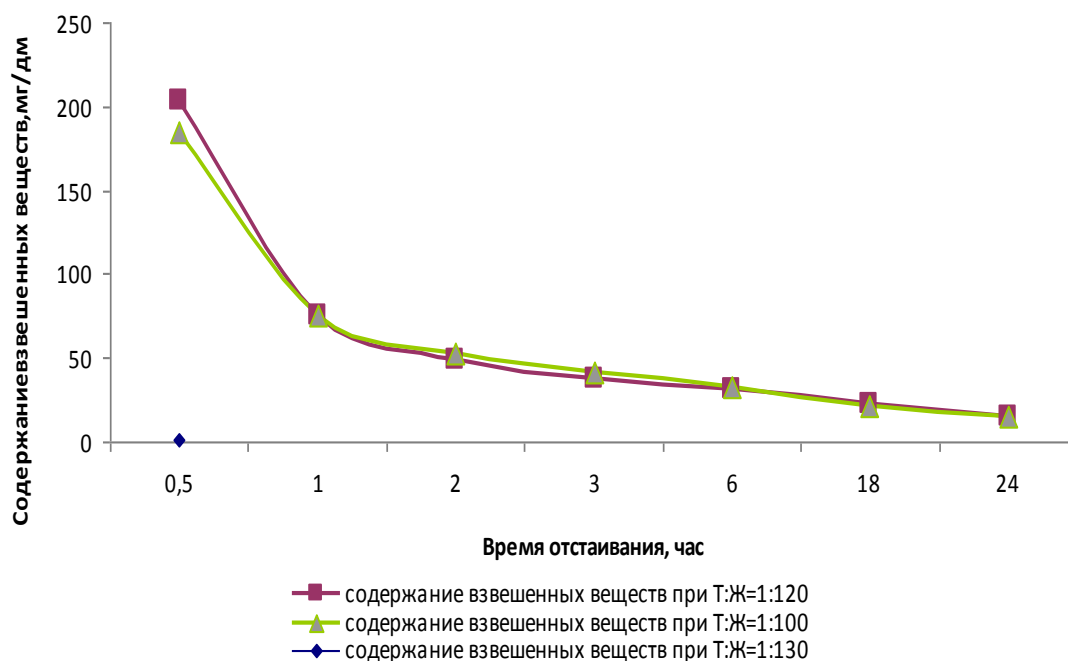


Рисунок 1 – Зависимость содержания взвешенных веществ от времени отстаивания при разных соотношениях Т:Ж

Анализ приведенных данных показал, что при отстаивании от 1 до 2-х часов происходит осаждение основной массы взвешенных веществ от  $185$  до  $49\text{ мг/дм}^3$ , далее происходит выпадение более мелких частиц. Обобщенные результаты эффекта осветления при разных соотношениях Т:Ж приведены в таблице.

*Результаты эффекта осветления при разных соотношениях Т:Ж*

Время отстаивания, час	Эффект осветления, %		
	Т:Ж =1:130	Т:Ж =1:120	Т:Ж =1:100
0,5	89,18	85	78
1	95,55	90,95	83,46
2	96,9	92,58	84,1
3	97,6	93,05	84,5
6	98,09	94,36	85,9
18	98,77	96,3	88,9
24	99,15	96,9	94

На рис. 2 представлен график зависимости эффекта осветления от времени отстаивания при разных соотношениях Т:Ж.

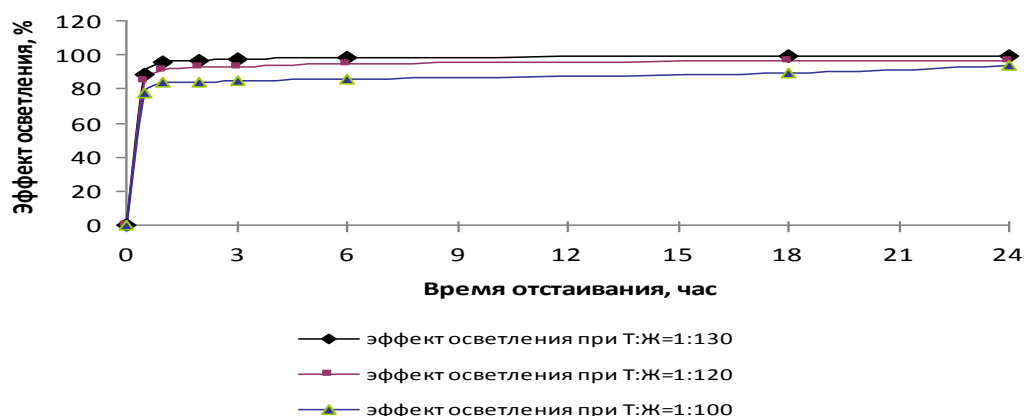


Рисунок 2 – Зависимость эффекта осветления сточных вод от времени отстаивания при разных соотношениях Т:Ж

Результаты исследований показали, что наиболее высокий эффект осветления воды после отстаивания хромсодержащих сточных вод, обработанных сорбентом, получается при соотношении Т:Ж = 1:130. В период отстаивания от 1 до 2 часов эффект осветления составляет 95-97%, в этот период оседает основная масса загрязняющих веществ, имеющих наибольшую гидравлическую крупность. Далее эффект осветления мало изменяется от 97,6% при трех часах и до 98,09% при шести часах отстаивания, в этот период из воды осаждаются мелкие частицы загрязняющих веществ. При дальнейшем отстаивании от 18 до 24 часов эффект осветления находится в пределах от 98,77 до 99,15%, происходит осаждение наиболее мелких частиц с малой гидравлической крупностью.

В свою очередь, увеличение времени отстаивания мало повышает эффект осветления воды, но при этом ведет к увеличению конструктивных размеров отстойника, что является экономически невыгодным. Количество взвешенных частиц при одном часе отстаивания воды было 85,5 мг/дм<sup>3</sup>, а при двух часах – 54,5 мг/дм<sup>3</sup>. Допустимая концентрация взвешенных веществ равна 240 мг/дм<sup>3</sup>. Исходя из этого, время отстаивания рекомендуется принимать для данных стоков от 1,5 до 2 часов.

При обеспечении показателей очистки сточных вод в пределах допустимых норм очищенная сточная вода после отстойников сбрасывается в городскую канализационную

сеть. При условии необходимости обеспечения на сбросе более высоких показателей воды после отстойников направляют на фильтры доочистки.

Результаты исследований, приведенные в данной статье, рекомендуются предприятиям при проведении опытно-промышленных испытаний.

#### Список литературы

1. Mamyachenkov S.V., Adryshev A.K., Seraya N.V., Khairullina A.A., Daumova G.K. Nanostructured Complex Sorbent for Cleaning Heavy Metal Ions from Industrial Effluent // Metallurgist. – Nos. 7-8, Vol. 61, 2017, P.615-623
2. Давыдов Ю.Ф. Моделирование гидравлических процессов / Ю.Ф. Давыдов, Е.В. Шаталова. – Усть-Каменогорск, ВКТУ, 2000. – 71 с.
3. ПНД РФ 14.1:2.110-97 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений содержаний взвешенных веществ и общего содержания примесей в пробах природных и очищенных сточных вод гравиметрическим методом, 2004 г.

Получено 13.08.2018

---

МРНТИ 38.17.15

**П.В. Ермолов**

Институт проблем комплексного освоения недр, г. Караганда

**Е.В. Мусина, В.С. Портнов**

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

#### ИЗУЧЕНИЕ ВОЗРАСТА И СОСТАВА ФУНДАМЕНТА ИРТЫШСКОЙ ЗОНЫ СМЯТИЯ В КАЛБА-НАРЫМСКОМ ТЕРРЕЙНЕ

*В статье рассматриваются структурные и возрастные соотношения Иртышской зоны смятия. Эти данные свидетельствуют о том, что Иртышская зона смятия является составной частью единого Калба-Нарымского террейна или самостоятельным образованием.*

*Мақалада Ертіс мыжылу белдемінің құрылымдық-жастық қатынастары қарастырылады. Бұл деректер Ертіс мыжылу белдемінің біртұтас Қалба-Нарын аймағының ажырамас бөлігі болып табылатынын немесе өздігінен қалыптасқанын көрсетеді.*

*The article considers the structural and age relationships of the Irtysh crush zone. These data indicate that the Irtysh zone of crushing is an integral part of the unified Kalba-Narym terrane or an independent formation.*

**Ключевые слова:** террейн, антиклинорий, структура, батолит, субстрат, порода, палеоструктуры, возраст, тектоническое строение, структура.

Целью работы является изучение геологического строения и абсолютного возраста фундамента северо-восточной и юго-западной частей Калба-Нарымского террейна как единой глобальной палеоструктуры.

Рассматриваемая часть Зайсанской складчатой области прежде выделялась как самостоятельная Калба-Нарымская структурно-формационная зона. Позднее в ней стали различать Иртышскую и Калба-Нарымскую зоны (рис. 1). Такое членение можно считать правомочным только для среднего палеозоя, так как очевиден факт различного строения северо-восточной и юго-западной частей Калба-Нарымского террейна, однако это различие не обусловлено разной историей развития, а лишь разными эрозионными срезами: уровень среза северо-восточной части на 4-5 км глубже уровня среза юго-западной части. Правильнее здесь можно говорить о тектоническом районировании: северо-восточная часть – антиклинорий, а юго-западная – крыло этого антиклинория. В таком ракурсе и бывшая Иртышская, и бывшая Калба-Нарымская зоны вместе вписываются в понятие Калба-Нарымский террейн.

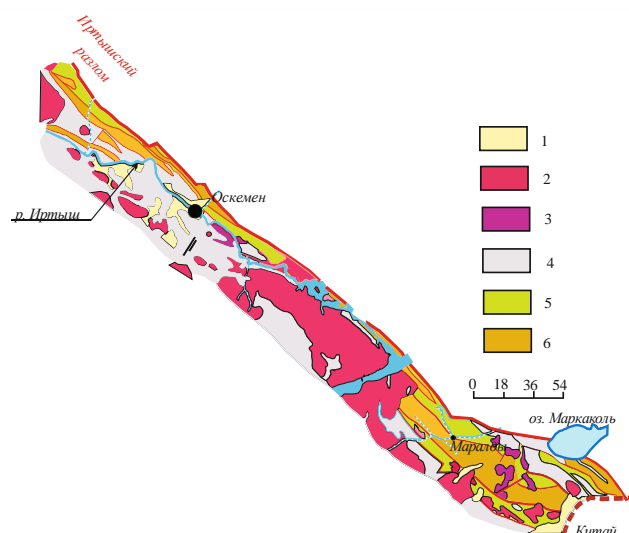


Рисунок 1 - Форма связи Иртышской зоны смятия с Рудным Алтаем и Калбой: 1 - мезокайнозой; 2 - калбинский комплекс  $P_1$ ; 3 - прииртышский комплекс  $C_1$ ; 4 - терригенный комплекс  $D_{2gv}-C_1$ ; 5 - зеленосланцевый метаморфический комплекс нерасчлененный  $Pz_1(?)$ ; 6 - кристаллический комплекс  $Pt_3 - Pz_1$

В это понятие вкладывается несколько иной смысл. В Википедии дается такое определение: «Террейн – это ограниченное разломами геологическое тело региональной протяженности, которое характеризуется своими собственными стратиграфическими, магматическими, метаморфическими и структурными особенностями, определяющими тектоническую историю, отличающую его от соседних геологических тел. По крайней мере, такое определение давали слову террейн авторы концепции P.C. Coney, D.G. Howell, D.L. Jones, J.W.H. Monger, E.R. Shermer. Далее будет показано, что и Иртышская, и Калба-Нарымская части террейна развивались в составе единой структуры глобального ранга, которая в геодинамической классификации отражается как континентальная окраина (континентальный склон, континентальный шельф).

Юго-западная часть террейна с двух сторон ограничена разломами, но явных разрывов сплошности, таких, например, которые отделяют Иртышскую зону от Рудного Алтая, на современном эрозионном срезе нет. Имеются косвенные признаки, позволяющие говорить о вероятных (скрытых) разломах, такие как пояс базитовых тел вдоль контакта северо-восточной и юго-западной частей террейна то ли магматического, то ли метаморфогенного происхождения или резкое выклинивание гранитного батолита на юго-западе террейна.

Юго-западная часть террейна на 70% сложена гранитами и гранитоидами, а 30% приходится на терригенные породы среднего палеозоя, в составе которых доминируют филлиты по флишоидам и черным сланцам, а также неметаморфизованные породы флишoidalного и грауваккового типов. Особо отметим, что в составе стратифицированных комплексов среднего палеозоя, которыми сложен Калба-Нарымский террейн, вулканические и вулканогенно-осадочные породы отсутствуют.

Гранитный батолит представляет собой межформационное тело с многочисленными подводящими каналами (рис. 2). Возраст гранитов по аргон-аргоновым и уран-свинцовым датировкам раннепермский (268-297 млн. лет) [1]. Подошва его залегает на глубине от 3 до 5 км; кровля возвышалась над современным эрозионным срезом на 3-4 км (по структурным построениям [2]). Расчеты показывают, что для формирования такого батолита, объем которого

на уровне становления превышал  $70\,000\text{ км}^3$ , в коре должен был быть проплавлен сплошной слой мощностью 6-7 км. Реальность таких расчетов подтверждают данные по одному из аналогов Калба-Нарымского батолита – Главному Колымскому редкометалльному батолиту. Согласно М.С. Родионову [3], мощность проплавленного слоя коры при формировании батолита могла достигать 8-9 км.

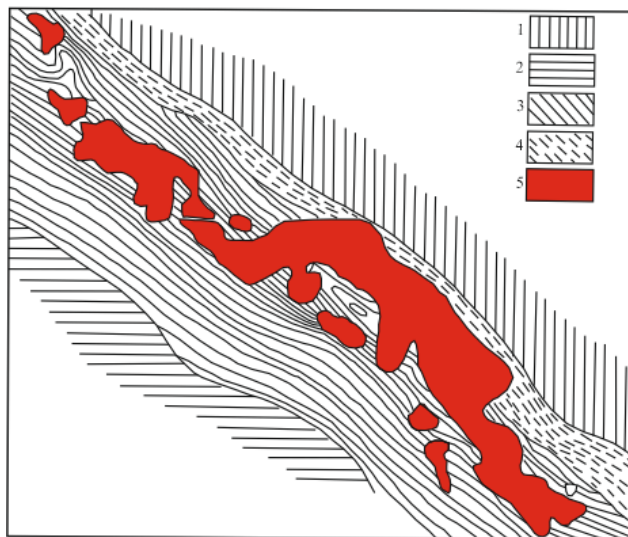


Рисунок 2 - Схема расположения Калбинского батолита: 1 - антиклинорий рудного Алтая, 2 - Чарский антиклинорий, 3 - песчано-сланцевые толщи Калбинского синклиниория, 4 - Иртышская зона смятия, 5 - калбинские граниты

И в том и в другом случае такие слои должны иметь достаточно гомогенный, подготовленный к плавлению состав, состоящий в основном из гнейсов и мигматитов. Это в свою очередь означает, что к моменту плавления в основании Калба-Нарымского террейна залегала зрелая кора континентального типа, аналогичная той, которая обнажается в виде тектонических фрагментов в Иртышской зоне смятия. Состав проплавленного слоя коры, поставившего магму в Калба-Нарымский батолит, можно оценить по составу пород, участвующих в строении батолита.

Соотношение пород разного типа в батолите:

– Плагиограниты <1% самой ранней фазы батолита, которая представлена дайками и малыми телами, не имеют принципиальных отличий от субавтохтонных малых тел плагиогранитов, широко развитых в составе плагиоклазовых амфиболитов в гнейсово-мигматитовом комплексе Иртышской зоны смятия. По аналогии присутствие таких же комплексов повышенной базитовости на уровне зарождения магм батолита или ниже этого уровня вполне допустимо. Как будет показано ниже, базитовые комплексы, являвшиеся субстратом для плагиогранитов, имели более молодой модельный возраст и высокую долю в своем составе мантийного компонента, что сближает их с ортогнейсами базитового состава.

- Граниты всех типов 80-85%, судя по минеральному составу (отсутствие магнетита и напротив, широкое развитие ильменита, биотитовый и биотит-мусковитовый состав, систематическое присутствие акцессорного граната пиральспитового ряда), сопутствующей металлогении (Ta, Be, Li, Sn, W) и составу глубинных ксенолитов (биотитовые, биотит-гранатовые, биотит-гранат-силлиманитовые), относятся к гранитам S-типа, которые в приро-



де образуются при плавлении парагнейсов. В Иртышской зоне смятия подавляющее большинство гнейсомигматитовых комплексов также имеют все признаки парагнейсов.

– Лейкократовые граниты и аляскиты 15-18%. Лейкократовые граниты делятся на две группы. Те, которые входят в состав калбинского комплекса, являются их прямыми производными, имеют те же свойства. Лейкограниты монастырского комплекса отличаются от калбинских профилирующим монацитовым составом акцессорного комплекса и слабым развитием гидротермальных процессов, свидетельствующих о более сухой и следовательно, более высокотемпературной магме.

Метаморфические породы Иртышской зоны, гнейсограниты в составе гнейсового комплекса Иртышской зоны и граниты Калба-Нарымского плутона имели неопротерозойский субстрат, возраст которого находится в пределах 0,8-1,2 млрд лет. Из этого ряда выбиваются данные по амфиболитам в составе гнейсов (мезопротерозой 1,5 млрд лет) и плагиогранитам в составе Калба-Нарымского плутона (верхи неопротерозоя 0,6 млрд лет). Важно то, что доля этих пород на наблюдаемом уровне и, вероятно, в составе субстрата не превышала 1%. Модельный возраст субстрата и его состав по изотопным данным (Sm-Nd) приведен в таблице. В целом по изотопным данным не намечается существенного различия между модельными возрастами регионально-метаморфизованного комплекса Иртышской зоны смятия и субстрата Калба-Нарымского батолита, из чего следует отсутствие одного из главных аргументов для разделения антиклинория и его крыла в разные структурно-формационные зоны. Субстрат, из которого формировались метаморфические и магматические породы Калба-Нарымского террейна, в северо-восточной и юго-западной его частях одинаковый.

*Модельный возраст и состав субстрата Калба-Нарымского террейна*

№ проб	Место отбора	Комплекс	Sm	Nd	147/144	143/144	εNd(0)	T <sub>DM</sub>
<b>Метаморфические комплексы Иртышской зоны смятия</b>								
98-14/19	Казахстан Согра	Рег.-метаморф.	4,21	21,5	0,1176	0,51234	-5,7	1,12
98-17/18	Казахстан, Предгорное	UP-UHP	7,94	41,0	0,1159	0,512292	-6,7	1,18
ALT 12	Китай, Фуюн	Гранито-гнейс	9,13	43,24	0,1276	0,512658	0,4	0,87
ALT 13	-- / --	Гнейс	3,56	16,04	0,1342	0,512680	0,8	0,90
ALT 14	-- / --	Гнейс	4,75	2,14	0,1240	0,512587	-1,0	0,96
ALT 15	-- / --	Гнейс	6,90	33,62	0,1240	0,512627	-0,2	0,89
ALT 16	-- / --	Амфиболит	2,10	6,58	0,1933	0,512951	6,1	1,49
ALT 17	-- / --	Гнейс	2,21	10,41	0,1284	0,512647	0,2	0,90
<b>Граниты Калба-Нарымского плутона, Казахстан</b>								
98-14/33	Дайки и малые тела	кунушский	5,49	26,5	0,1241	0,512728	1,7	0,6
T-184	Белогорский	калбинский	6,99	30,6	0,13806	0,512568	-1,4	0,87
T-186	Чebунда	калбинский	4,78	17,8	0,16265	0,512632	0,12	0,83
T-102	Себинский	монастыр.	5,82	28	0,12596	0,512532	-2,1	1076
1-205	-- / --	-- / --	7,13	33,2	0,12997	0,512695	1,1	831
<b>Примечания:</b> Пробы 98-14/19, 98-17/18, T-103 и 1-205 заимствованы из [4]. Пробы T-184 и T-186 из [5]. Пробы ALT-12-17 заимствованы из [6].								

Из данных таблицы видно, что  $\varepsilon_{\text{Nd}}(0)$  (измеренный изотопный состав современного и первичного неодима) в породах регионально-метаморфизованного комплекса северо-восточной части террейна (включая гнейсограниты в его составе) и субстрат, из которого произошли граниты Калба-Нарымского батолита, меняются в одних и тех же пределах: от +1,7 до – 2,1.

Имеются два объяснимых исключения из этой закономерности:

- а) в амфиболитах регионально-метаморфизованного комплекса (они имеют экзотический характер распространения, т.е. менее 1%) значение  $\varepsilon_{\text{Nd}}(0)$  достигает +6,1, что связано с образованием их по габбро или базальтам мантийного происхождения;
- б) значение  $\varepsilon_{\text{Nd}}(0) = -5,7$  и  $-6,7$  в двух верхних образцах объясняется их высокоглиноземистым (мigmatиты с гранатом и силлиманитом) и гиперглиноземистым (гнейсы с гранатом, дистеном и мусковитом) составом первично-седиментного происхождения, в котором вклад мантийного материала, естественно, занижен против нормальных пород того же возраста. Распространение таких пород в регионально-метаморфизованном комплексе северо-восточной части террейна имеет экзотический характер.

На основании вышеизложенного можно сделать следующий вывод. Обосновано объединение северо-восточной и юго-западной частей Калба-Нарымского террейна в единый фрагмент глобальной палеоструктуры типа континентальной окраины на основе отсутствия контрастных различий возраста и состава фундамента северо-восточной и юго-западной частей террейна.

#### Список литературы

1. Владимиров А.Г. Корреляция герцинских деформаций, осадконакопления и магматизма алтайской коллизионной системы как отражение плейт- и плюмтектоники: геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) / А.Г. Владимиров, Н.Н. Крук, О.П. Полянский и др. - М.: ГИН РАН, 2005. - С. 182-215.
2. Лопатников В.В. Магматизм и рудоносность Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана / В.В. Лопатников, Э.П. Изох, А.П. Пономарева. - М.: Наука, 1982. - С. 247.
3. P.V.Yermolov, V.S.Portnov, E.V. Musina Geodynamic of Irtysh shear zone: composition and U-Pb age of metamorphic and magmatic complexes, TR- mineralization, geodynamic model / Геология и охрана недр. - 2016. - № 3. - С. 1-14.
4. Беспаяев Х.А. Геология и металлогения Юго-Западного Алтая в пределах территории Казахстана и Китая / Х.А. Беспаяев, Н.В. Полянский, Г.Д. Ганженко и др. - Алматы: Гылым. - 1997. - 280 с.
5. Hu A. et al. Crustal evolution and Phanerozoic crustal growth in northern Xinjiang: Nd isotopic evidence. Part I. Isotopic characterization of basement rock / Tectonophysics. 2000. № 328. P. 15-51.
6. Куйбида М.Л. Петрология плагиогранитоидов Алтая / Автореф. дис... на соискание ученой степени канд. геол.-минер. наук. - Новосибирск, 2009. - С. 18.

Получено 13.08.2018

---

УДК 622.831

**Т.Т. Ипалаков, Б. Апшикур**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

#### ИССЛЕДОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКОГО ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ

*Выполнены исследования уравнений характеристик плоского предельного состояния. Выделены три области по определению разрушающего нормального давления. Исследованы не изученные*

ранее свойства в переходной области. Определено неравенство функции  $\lambda$ , которая может служить критерием оценки выполнения предельного равновесия откоса.

Жазық шектік жағдайдың сипаттамаларының теңдеуі зерттелген. Қиратушы қалыпты қысымды анықтау бойынша үш аумақ бөлінген. Өтпелі аумақтағы бұрынғы зерттелмеген қасиеттері зерттелген. Құламаның шектік тепе-теңдігінің орындалуын бағалау критериясына қызмет етуі мүмкін  $\lambda$  теңсіздік функциясы анықталынған.

The research of equations the characteristics flat limiting state is carried out. Selected three areas for determination of crushing pressure is normal. The properties not previously studied in the transition region are investigated. The inequality of the function, which can serve as a criterion for assessing the performance of the limiting slope equilibrium, is determined.

**Ключевые слова:** массив горных пород, массив борта карьера, равновесие, предельное состояние, угол наклона, откос, площадка скольжения, дифференциальное уравнение, круглоцилиндрическая поверхность.

Предельное равновесие массива горных пород Прандтль Л. и Паукер П.Е. [1] находят, вычисляя соотношение приведенных сил  $P_a$  и  $P_b$ , действующих на клин с двугранным углом  $\theta$  (рис. 1). Общий метод теории предельного равновесия сил разработан В.В. Соколовским [2].

Для решения задач об определении разрушающего нормального давления на плоскости ХОУ различают три области (рис. 2).

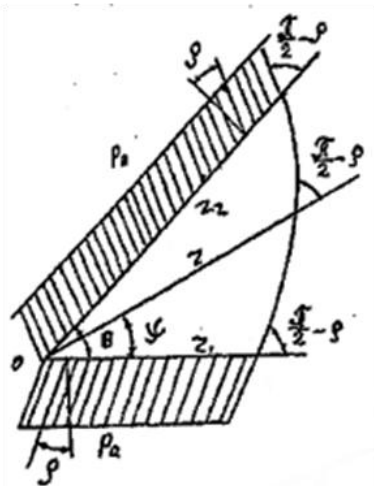


Рисунок 1 – Предельное равновесие массива горных пород по Л. Прандтлю и П. Паукеру

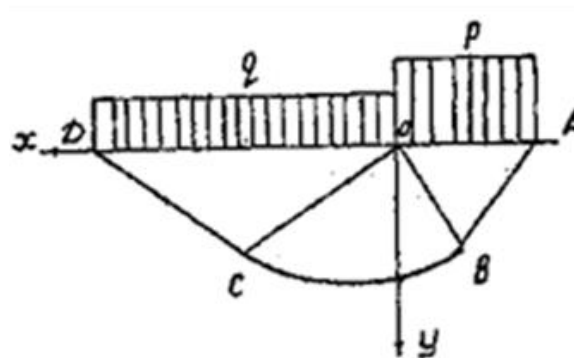


Рисунок 2 – Схема решения задач по определению разрушающего нормального давления (по В. Соколовскому)

В области ДОС и АОВ:

$$\sigma = q / (1 - \sin \rho), \quad \varphi = 0 \quad \text{è} \quad \sigma = P / (1 + \sin \rho), \quad \varphi = \pi / 2, \quad (1)$$

в области ВОС:

$$\sigma = q \cdot e^{2\lg \rho} / (1 - \sin \rho), \quad \lg(\varphi + \varepsilon) = y / x \quad \text{èèè} \quad \varphi - \theta = \varepsilon. \quad (2)$$

В первом случае сетки линии скольжения образованы двумя семействами параллельных прямых, во втором сетка линий скольжения состоит из пучка прямых, исходящих из семейства логарифмической спирали  $r = ce^{-\lg \rho}$ .

Исследования о переходной области различными авторами подробно изложены в моногра-

фиях В.В. Соколовского и С.С. Голушкевича [2].

Из многолетних исследований известно:

- существует переходная область, передающая давление призмы обрушения на призму выпирания;
- в переходной области линиями скольжения одного семейства служит пучок кривых (прямых), исходящих из особой точки, а линиями скольжения другого семейства являются изогональные траектории, пересекающие кривые пучки под углами  $(\pi / 2 \pm \rho)$ ;
- центр пучка, являющийся особой точкой границы переходной области, является в некотором смысле и особой точкой ее предельного напряженного состояния, которой на плоскости характеристик соответствует целый отрезок характеристик;
- переходная область находится в напряженном состоянии, но нельзя ее отнести ни к призме обрушения, ни к призме выпирания;
- внутри переходной области могут существовать линии сильного разрыва, такие, которые при переходе через них на перпендикулярных к ним отрезках нормальных напряжений терпят конечные разрывы;
- линии разрыва могут быть линиями скольжения или огибающей линией скольжения;
- возможен случай, когда переходная область выражается в линию сильного разрыва.

Не изучены:

- при каком соотношении между компонентами  $\sigma_x, \sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  появляются особые точки и линии разрыва;
- характер напряженного состояния переходной области внутри весомой среды;
- обоснованные свойства плоского предельного равновесия, зависящие от изменения угла наклона первой площадки скольжения;
- пространственное положение линии переходной области, вдоль которой соотношение разрушающих и удерживающих сил давления определяется из условия равновесия значений средних приведенных напряжений;
- какие соотношения между компонентами напряжений  $\sigma_x, \sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  позволяют различать минимальное и максимальное напряженные состояния;
- возможные промежутки изменения угла наклона наибольшего главного напряжения  $\sigma_I$ .

В настоящей работе поставленные вопросы найдут отражение.

Свойства плоского предельного равновесия массива горных пород. Если массив находится в напряженном состоянии, то в любой точке занятой ею области выполняется условие

$$0.25 \cdot (\sigma_x - \sigma_y)^2 + \tau_{xy}^2 = 0.5 \cdot \sin^2 \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0)^2, \quad (3)$$

которое можно представить как соотношение между сторонами какого-либо прямоугольного треугольника (рис. 3). Величинами катетов этого треугольника могут быть приняты:

$0.5 \cdot |\sigma_x - \sigma_y|$  и  $\tau_{xy}$ , а величиной гипотенузы -  $0.5 \cdot \sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0)$ . Тогда

радиус вписанной в треугольник окружности  $r^0$  и высоты  $h^0$ , опущенной на гипотенузу, определяется формулами:

$$r^0 = |\sigma_x - \sigma_y| \cdot \tau_{xy} \cdot [2\tau_{xy} + |\sigma_x - \sigma_y| + \sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0)]^{-1},$$

$$h^0 = |\sigma_x - \sigma_y| \cdot \tau_{xy} \cdot [\sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0)]^{-1},$$

а их отношение:

$$r^0 / h^0 = \sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0) \cdot [2\tau_{xy} + |\sigma_x - \sigma_y| + \sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0)]^{-1}.$$

На основании известного неравенства из математики  $\sqrt{2} - 1 \leq r^0 - h^0 \leq 0.5$ , справедливого для любого прямоугольного треугольника, можно привести к виду:

$$\sqrt{2} - 1 \leq \lambda \leq 0.5, \quad (4)$$

где  $\lambda = \sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0) \cdot [2\tau_{xy} + |\sigma_x - \sigma_y| + \sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0)]^{-1}$ .

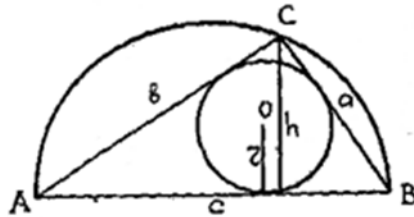


Рисунок 3 – Геометрическое представление выражения (3)

Ниже изложены результаты исследования неравенства (4). На известных примерах показана непрерывность множества значений величины  $\lambda$  и определены промежутки изменения угла наклона наибольшего главного напряжения  $\varphi$  к оси  $X$ .

Для наглядности полученные результаты исследования помещены в сводную таблицу.

Результаты исследования неравенства (4)

Функция $\lambda = \lambda(\varphi)$	Пределы измерения		Знак разности ( $\sigma_x - \sigma_y$ )
	$\varphi$	$\lambda$	
$\lambda = 1 / [1 + \sqrt{2} \cdot \cos(2\varphi - \pi / 4)]$	$m\pi \leq \varphi \leq \pi / 4 + m\pi$	$\sqrt{2} - 1 \leq \lambda \leq 0.5$	$\sigma_x > \sigma_y$
$\lambda = 1 / (1 + \sin 2\varphi)$	$\varphi = \pi / 4 + m\pi$	$\lambda = 0.5$	$\sigma_x = \sigma_y$
$\lambda = 1 / [1 - \sqrt{2} \cdot \cos(2\varphi + \pi / 4)]$	$\pi / 4 + m\pi \leq \varphi \leq \pi / 2 + m\pi$	$\sqrt{2} - 1 \leq \lambda \leq 0.5$	$\sigma_x < \sigma_y$
$\lambda = 1 / [1 + \sin 2\varphi +  \cos 2\varphi ]$	$m\pi \leq \varphi \leq \pi / 2 + m\pi$	$\sqrt{2} - 1 \leq \lambda \leq 0.5$	$ \sigma_x - \sigma_y  \geq 0$

Можно доказать, что если массив в прямоугольной системе координат  $XOY$  занимает верхнюю полуплоскость ( $y > 0$ ), то областью изменения угла  $\varphi$  является сегмент

$0; 0.5\pi$  (ось  $X$  направлена по горизонтали влево, а ось  $Y$  - вертикально вниз). Для этого в известном выражении

$$\operatorname{tg} \varphi = [\pm \sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0) - (\sigma_x - \sigma_y)] \cdot (2\tau_{xy})^{-1},$$

$\operatorname{tg} \varphi$  заменив на  $dy / dx$ , получим:

$$dy / dx = [\sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0) - (\sigma_x - \sigma_y)] \cdot (2\tau_{xy})^{-1}. \quad (5)$$

Учитывая, что компоненты напряжения  $\sigma_x, \sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  являются непрерывными функциями координат, равенство (5) можно считать дифференциальным уравнением главных площадок. Следовательно, главные площадки на плоскости  $XOY$  представляют собой семейство кривых. Любая кривая, расположенная на верхней полуплоскости ( $y \geq 0$ ), не может иметь угол наклона к оси  $X$  больше, чем  $\pi$ , так что  $\varphi \leq \pi$ . Поэтому в неравенстве  $m \cdot \pi \leq \varphi \leq 0.5\pi + m \cdot \pi$  следует принять  $m$ . Тогда  $0 \leq \varphi \leq 0.5\pi$ , что и требовалось доказать.

На основании доказанного функция  $\lambda = \lambda(x, y)$  сохраняет свой график (рис. 4) только на сегменте  $0; 0.5\pi$ .

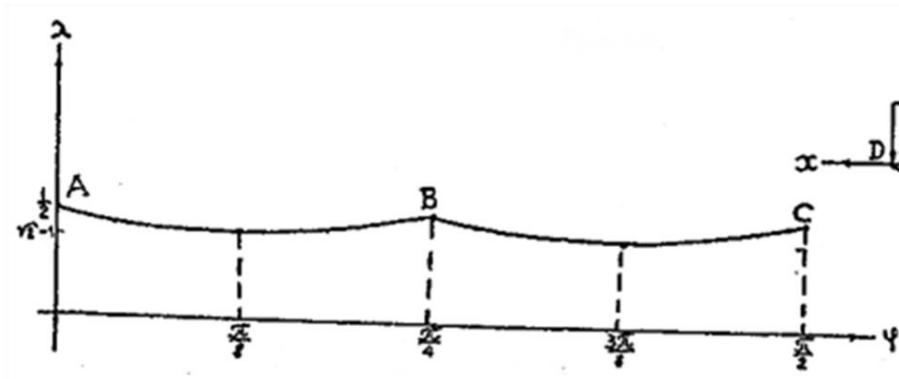


Рисунок 4 – График функции  $\lambda$

Окончательно для решения задачи о возможности существования линий перехода от одного вида напряженных состояний в другой в качестве примера обратимся к известной задаче о несущей способности основания, ограниченного осью  $X$  (рис. 5).

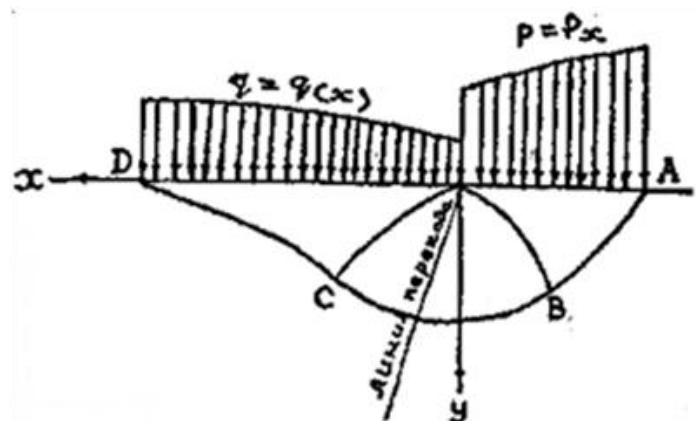


Рисунок 5 – К решению задачи о несущей способности основания

Для этой цели вдоль отрицательной полуоси  $X$  зададим разрушающее приведенное нормальное давление  $P$ , равное  $P=P_x$ , и предположим, что вдоль положительной полуоси определено удерживающее приведенное нормальное давление  $q=q(x)$ , при котором основание сохраняет равновесие без выпирания и оседания.

Нарушение предельного равновесия, как известно, приводит к выпиранию основания вдоль положительной и оседанию вдоль отрицательной полуосей  $X$ . В зоне, примыкающей к оси  $X$ , будет иметь место максимальное, а в зоне, примыкающей к отрицательной полуоси, минимальное напряженное состояние.

Следовательно, вдоль отрицательной полуоси  $X$  при  $x = -l$  имеет место:

$$\sigma = P(x) \cdot (1 + \sin \rho)^{-1}, \quad \varphi = \pi / 2,$$

а вдоль положительной при  $x = +l$ :

$$\sigma = q(x) \cdot (1 - \sin \rho), \quad \varphi = 0.$$

Сравнивая результаты таблицы и последнее выражение, нетрудно убедиться, что в зоне, примыкающей к отрицательной полуоси, справедливы

$$\sigma_x < \sigma_y, \quad \lambda = [1 - \sqrt{2} \cdot \cos(2\varphi + 0.25\pi)]^{-1} \quad \text{в} \quad 0.25\pi < \varphi < 0.5\pi,$$

(6)

а в зоне, примыкающей к положительной полуоси  $X$ , имеет место соотношение

$$\sigma_x > \sigma_y, \quad \lambda = [1 + \sqrt{2} \cdot \cos(2\varphi - 0.25\pi)]^{-1} \quad \text{в} \quad 0 \leq \varphi < 0.25\pi, \quad (7)$$

Условие (6) соответствует минимальному, (7) - максимальному напряженному состоянию.

Переход от минимального к максимальному напряженному состоянию произойдет там, где выполняются условия

$$\sigma_x = \sigma_y, \quad \lambda = (1 + \sin 2\varphi)^{-1} \quad \text{в} \quad \varphi = 0.25\pi. \quad (8)$$

Последние условия могут быть выполнены вдоль какой-нибудь линии, проходящей через особую точку.

Действительно, в особой точке угол наклона наибольшего главного напряжения удовлетворяет неравенству  $0 \leq \varphi \leq 0.5\pi$ , поэтому может достигнуть значения  $\varphi = 0.25\pi$ , т.е. искомая линия проходит через особую точку.

В дальнейшем такую линию назовем линией перехода от одного вида напряженного состояния к другому, существование которой можно доказать, исследуя дифференциальное уравнения характеристик основной системы уравнений равновесия.

Функция  $\lambda$ , определяемая неравенством (4), может служить критерием оценки выполнения предельного равновесия откоса. Ниже рассмотрим частный пример: удовлетворяет ли круглоцилиндрическая поверхность функции  $\lambda$ .

Неравенство (4), представленное как функция от  $\varphi$ , зависит от угла площадок скольжения и угла наклона откоса. Поэтому функция  $\lambda$  выполняется в областях занятых точками, ограничивающих наиболее опасную поверхность скольжения (рис. 6).

Когда угол  $\varphi < 45^\circ$ , функцию  $\lambda$  вычислим из равенства (5), если  $\varphi > 45^\circ$  - из равенства (6), а при  $\varphi = 45^\circ$  - из уравнения (8). В основании откоса угол  $\varphi = \alpha = 45^\circ$ , соответственно функция равна 0,5.

С увеличением угла  $\varphi$  в точках круглоцилиндрической поверхности скольжения функция численно убывает и минимальное значение  $\lambda = \sqrt{2} - 1$  достигает при угле наклона площадки скольжения  $\omega^I = 22.5^\circ + \rho / 2$ ,  $\varphi = \omega^I + (45^\circ - \rho / 2)$ .

Затем функция, увеличиваясь, достигает максимума, равного 0,5, при  $\varphi = 90^\circ$  в верхней части откоса. Как видно, массив борта карьера, ограниченный круглоцилиндрической





УДК 550.3

**Р.К. Мадиева, М.В. Пономарева, А.Т. Тунгышбаева**

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ  
ЮЖНО-ТОРГАЙСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАСЕЙНА**

*Определены гидродинамические параметры пластов в скважине в установленном и не установленном режимах. Приведена обработка по методу установленных отборов по кривой восстановления уровня и по кривой восстановления давления.*

*Ұңғыманың орныққан және орнықпаған тәртібінде қабаттың гидродинамикалық параметрлері анықталды. Анықтау орныққан ағын әдісі, деңгейдің қалпына келу қисығы және қысымның қалпына келу қисығы әдістері бойынша жүзеге асырылды.*

*Hydrodynamic parameters of the reservoir in the well in the established and not established modes are determined. The data processing is performed by the method of established sampling, by the curve of the level recovery and by the pressure recovery curve.*

**Ключевые слова:** гидродинамические методы исследования скважин, пластовое давление, дебит, коэффициент продуктивности, гидропроводность, пьезопроводность, скин-фактор.

Цель: изучить абсолютные гидродинамические характеристики пластов-коллекторов для управления процессом разработки месторождения Ащисай.

Все существующие гидродинамические методы исследования скважин можно подразделить на две группы:

- методы исследования скважин при установившемся режиме их эксплуатации;
- методы исследования при неустановившемся режиме работы скважин.

В нефтепромысловой практике данные методы объединяют под общим названием – исследования скважин по кривым восстановления давления (уровня) [1].

При установившемся режиме при известном  $P_{пл}$  в скважинах со стабильным дебитом  $Q$  и замеренным давлением в призабойной части пласта  $P_{заб}$  может быть определен коэффициент продуктивности пласта [2]:

$$K = \frac{Q}{\Delta P}, \quad (1)$$

где  $\Delta P = (P_{пл} - P_{заб})$  – депрессия на пласт.

Очень часто величина  $P_{пл}$  неизвестна, а оценка продуктивности по одному режиму ненадежна из-за возможной зависимости фильтрационных свойств пласта от депрессии (для сложных коллекторов, при многофазном притоке и т.п.) [3]. В таких случаях  $P_{пл}$  определяют по замерам забойного давления и дебита на нескольких близких установившихся режимах работы скважины. Режим работы скважины изменяют путем увеличения или уменьшения депрессии на пласт. В табл. 1 представлены данные забойного давления  $P_{заб}$  и расхода  $Q$  (3, 4 столбцы) на нескольких стабильных режимах работы скважины, отличающихся депрессией на пласт, которая изменяется сменой штуцера. Гидродинамические исследования проводились в одной из скважин месторождения Каламкас полуострова Бузачи.

Таблица 1

*Результаты гидродинамических исследований*

№ п/п	Диаметр штуцера, мм	$Q$ , м <sup>3</sup> /сут	$P_{заб}$ , атм	$\Delta P$ , атм
1	4,0	50,8	71,8	38,3
2	8,0	56,3	69,3	40,8
3	10,0	62,5	65,2	44,9
4	12,0	68,9	58,4	51,7

Откладывая по оси ординат значения дебита, а по оси абсцисс – значения забойного давления (рис. 1) и проводя через фактический набор точек аппроксимирующую прямую, получаем точку пересечения прямой с осью забойных давлений при нулевом дебите, то есть свободный член зависимости  $Q = f(P_{заб})$ , который дает значение пластового давления  $P_{пл}$ , равное 146,5 атм.

Используя значение  $P_{пл}=146,5$  атм, заполняем столбец 5 табл. 1 и строим индикаторную диаграмму (рис. 2).

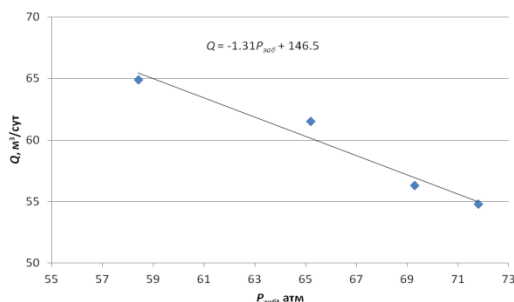


Рисунок 1 – Зависимость дебита от забойного давления

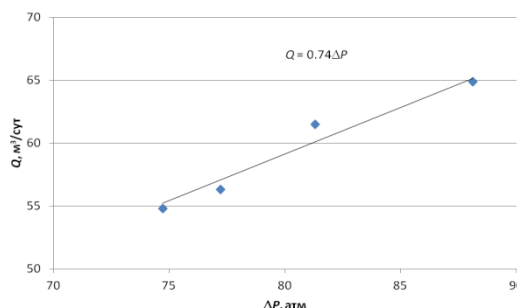


Рисунок 2 – Индикаторная диаграмма

Линейность индикаторной линии ( $Q = K \cdot \Delta P$ ) во всем интервале исследования означает, что в призабойной зоне скважины фильтрация происходит по линейному закону. Тогда для определения коэффициента продуктивности можно использовать формулу (1), то есть коэффициент продуктивности  $K$  является величиной постоянной и численно равен тангенсу угла наклона индикаторной линии к оси депрессии.

Коэффициент линейной регрессии зависимости  $Q = f(\Delta P_{заб})$  отображает продуктивность скважины, то есть  $K = 0,74 \text{ м}^3/(\text{сут} \cdot \text{атм})$ .

Для определения гидропроводности  $\delta$  можно использовать разновидность формулы Дюпюи [2]:

$$\sigma = \frac{\ln \frac{R_k}{r_c} + C_1 + C_2}{2\pi} \cdot K, \quad (2)$$

где  $R_k$  – радиус контура питания скважины;  $r_c$  – радиус скважины по долоту;  $C_1, C_2$  – коэффициенты, характеризующие несовершенство скважины по степени и характеру вскрытия. Принимая  $R_k = 250 \text{ м}$ ,  $r_c = 0,108 \text{ м}$ ,  $C_1 = C_2 = 0$ , получаем  $\delta = 10,56 \text{ (Д} \cdot \text{см)/сПз}$ .

Используя зависимость  $\delta = \frac{k \cdot h}{\mu}$ , где  $h$  – мощность пласта,  $k$  и  $\mu$  – соответственно, проницаемость и вязкость флюида, рассчитываем значение подвижности флюида в пласте [3]:

$$\frac{k}{\mu} = \frac{\delta}{h} = \frac{10,56 \text{ (Д} \cdot \text{см)/сПз}}{960 \text{ см}} = 0,011 \text{ Д/сПз}$$

и, принимая  $\mu = 1 \text{ сПз}$ , определяем проницаемость флюида  $k = 11,0 \text{ мД}$ .

Для интерпретации результатов исследований в нестабильно работающих, малодобитных скважинах с открытым устьем широко используется технология КВУ (кривая восстановления уровня), которая включает в себя снижение динамического уровня в стволе при насосной эксплуатации или освоении скважины путем свабирования или компрессирования; получение кривых изменения во времени забойного давления в процессе восстановления уровня [4].

Одним из методов обработки результатов КВУ является метод Маскета–Яковлева, также известный как модель жесткого пласта. Основным параметром, определяемым по КВУ, является коэффициент продуктивности, численно равный тангенсу угла наклона псевдоиндикаторной диаграммы. Точки пересечения индикаторной диаграммы с координатными осями определяют пластовое давление и абсолютно свободный дебит. По величине коэффициента продуктивности рассчитывают гидродинамические свойства пласта.

Гидродинамические исследования проводились при компрессорном освоении скважины № 94 нефтяного месторождения Ащисай Южно-Торгайской нефтегазоносной провинции. Забойное давление замерено глубинным манометром.

Обработка результатов состоит в расчете кривой изменения во времени дебита скважины и в построении по кривым давления и дебита индикаторной диаграммы (ИД). Для расчета кривой дебита временной интервал КВУ разбиваем на локальные отрезки  $\Delta t$  (рис. 3).

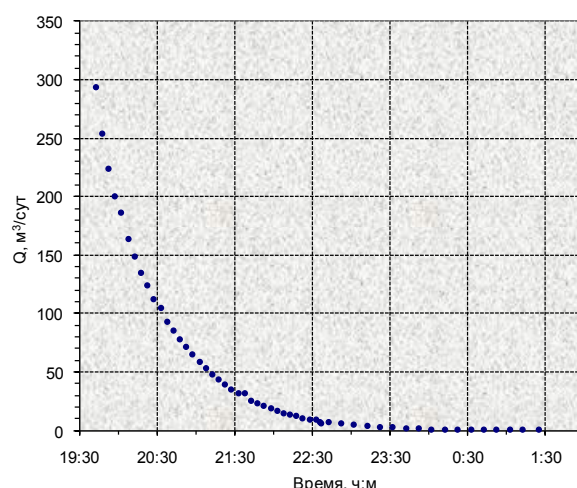


Рисунок 3 – Кривая изменения дебита во времени

Длина отрезков подбирается эмпирически и, как правило, составляет от нескольких десятков секунд до нескольких минут. Дебит для каждого выбранного временного отрезка рассчитывается по формуле:

$$Q_{\phi} = \frac{\Delta P S}{\rho g \Delta t}, \quad (3)$$

где  $\Delta P$  – изменение за время  $\Delta t$  забойного давления;  $S = S_{HKT} + S_m$  – площадь сечения потока флюида ( $S_{HKT}$  – внутреннее сечение НКТ,  $S_m$  – сечение кольцевого пространства межтрубья);  $\rho$  – плотность флюида;  $g$  – ускорение свободного падения [2].

По кривым изменения забойного давления от дебита (рис. 4) строим индикаторную диаграмму.

Свободный член линейного уравнения прямой  $P_{заб} = f(Q)$  представляет собой пластовое давление, то есть  $P_{пл} = 136,4$  атм. Используя это значение, строим ИД (рис. 5).

Определяем гидропроводность  $\delta$ , используя формулу (2). Принимая  $R_k = 100$  м,  $r_c = 0,108$  м,  $C_1 = C_2 = 0$ , получаем  $\delta = 76,44$  (Д·см)/сПз [1].

Используя зависимость  $\delta = \frac{k \cdot h}{\mu}$  и принимая  $\mu = 0,2$  сПз,  $h = 2,8$  м, рассчитываем проницаемость  $k = 54,6$  мД.

Кривые восстановления (падения) забойных давлений (КВД-КПД) являются методом гидродинамических исследований скважин на неустановившихся режимах фильтрации. Определение гидродинамических параметров пластов-коллекторов скважины № 2263 месторождения Каражанбас полуострова Бузачи выполнено одним из известных и распространенных методов обработки КВД – методом Хорнера. На рис. 6 приведен график восстановления давления скважины № 2263.

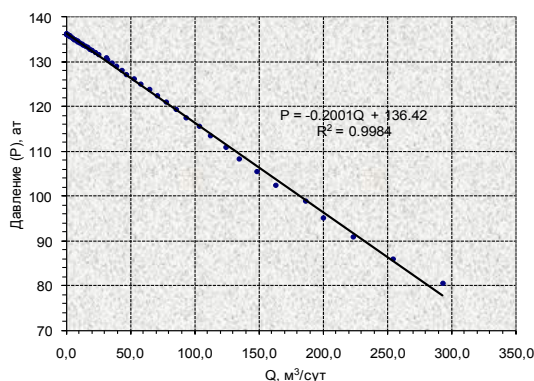


Рисунок 4 – Зависимость забойного давления от дебита

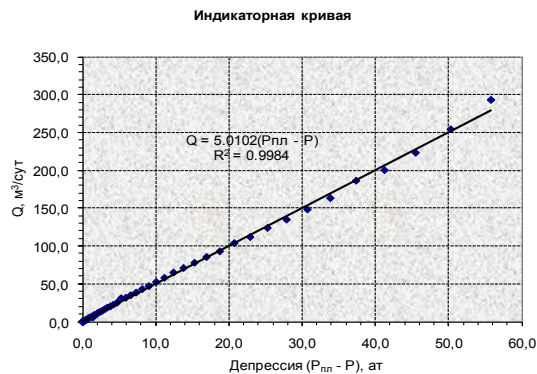


Рисунок 5 – Зависимость дебита от забойного давления

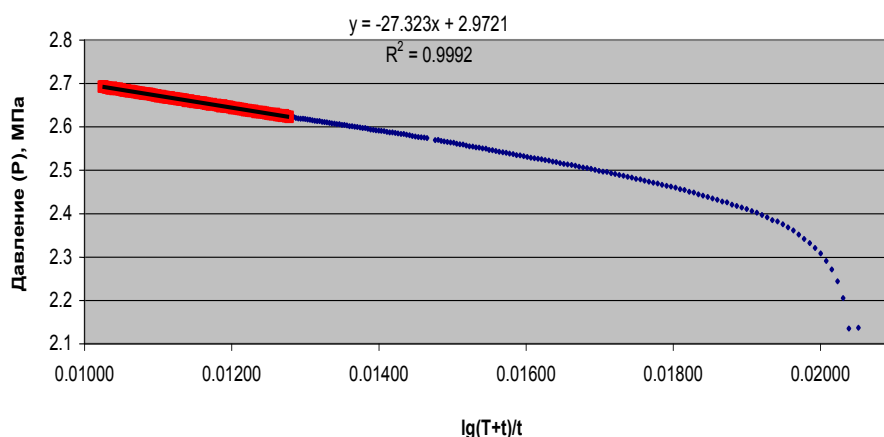


Рисунок 6 – График восстановления давления по методу Хорнера

Данные по скважине приведены в табл. 2. Результаты интерпретации по методу Хорнера приведены в табл. 3.

Таблица 2

Данные по скважине 2263

$\beta_{ж}$	$\beta_c$	Пористость, m	h	$R_{скв.}$	Радиус контура питания, $R_k$	$\mu$
$10^{-5}/\text{атм}$	$10^{-5}/\text{атм}$	д. ед.	м	мм	м	мПа*с (сПз)
4,5	1,35	0,2	5,0	215,9	100	3,0

Таблица 3

*Результаты интерпретации по методу Хорнера*

Рассчитанные параметры	Значение	
	МПа	атм
Пластовое давление	2,970050401	29,7
	$\text{м}^3/(\text{МПа}\cdot\text{с})$	$(\text{Д}\cdot\text{см})/\text{сПз}$
Гидропроводность $s$	3,36439E-06	0,336438898
	$\text{м}^2/\text{с}$	$\text{см}^2/\text{с}$
Пьезопроводность $z$	0,002990568	29,9056798
	$\text{см}^2$	мД
Проницаемость $k$	2,02E-11	2,018633387

Наиболее правильная оценка гидродинамических параметров продуктивного пласта может быть дана на основе гидродинамических исследований скважин – ГДИС. Информация, получаемая по данным промыслово-геофизических исследований скважин и лабораторных исследований образцов горных пород, недостаточно точно характеризует свойства пласта в целом.

Метод установившихся отборов (МУО) был выбран для исследования скважины месторождения Каламкас, так как скважина работала со стабильным дебитом, задача состояла в том, чтобы изменить режим работы скважины, что было осуществлено сменой штуцера соответственно депрессии на пласт.

На месторождении Ащисай была записана кривая изменения давления, которую также называют кривой притока (КП), так как восстановление давления зарегистрировано при открытом устье скважины. Изменение забойного давления обусловлено продолжающимся притоком жидкости из пласта и подъемом уровня жидкости в стволе скважины. Метод КВУ, как правило, применяется на малodeбитных скважинах. А для проведения оценки гидродинамических характеристик, если восстановление давления в пласте и скважине происходит при закрытом устье скважины, целесообразно использовать метод КВД. Он подразумевает отсутствие притока жидкости из пласта в ствол остановленной скважины. На месторождении Каражанбас данные были получены методом КВД, для расчета гидродинамических характеристик пласта соответственно использовался метод Хорнера, который учитывает особенности данного вида исследования.

Сопоставляя результаты исследования, стоит отметить, что деление ГДИ на установившиеся и неуставившиеся режимы, а кривой изменения давления на КВД и КВУ, характеризует условия проведения опыта и заранее свидетельствует о возможности или невозможности использования некоторых алгоритмов и метода обработки. Анализ проведенного опыта показывает выбор оптимального метода получения данных и обработки результатов исследования.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Разработана методика расчета ГДИ характеристик пласта при установившемся, неуставившемся режимах скважины, которая может быть использована на месторождениях Южно-Торгайского прогиба.

2. Установлены такие значения гидродинамических параметров пласта на месторождении Ащисай как пластовое давление, коэффициент продуктивности, гидропроводность, значение подвижности флюида в пласте и проницаемость.

В заключение стоит отметить, что прогноз технологических показателей разработки и обоснование величин конечной нефтеотдачи базируется на гидродинамических расчетах.

## Список литературы

1. Валиуллин Р.А. Термогидродинамические исследования при различных режимах: Руководство по исследованию и интерпретации / Р.А. Валиуллин, А.Ш. Рамазанов. – Уфа, 2002. – 248 с.
2. Хисамов Р.С. Гидродинамические исследования скважин и методы обработки результатов измерений. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2000. – 228 с.
3. Шагиев Р.Г. Исследование скважин по КВД. – М.: Наука, 1998. – 144 с.
4. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. – М.: Ижевск, 2004. – 628 с.
5. Баренблатт Г.И. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа / Г.И. Баренблатт, В.М. Ентов, В.М. Рыжик. – М.: Недра, 1972. – 288 с.
6. Веригин Н.Н. Методы определения фильтрационных свойств горных пород. – М.: Госстройиздат, 1962. – 182 с.

Получено 13.08.2018

---

УДК 622.06

**Л.С. Манучарян**

Государственное учреждение Межрегиональный департамент «Востказнедра»,  
г. Усть-Каменогорск

**ОПЫТ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ ОБВОДНЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ**

*В статье приведены практические приемы оценки обводненности месторождений твердых полезных ископаемых, главным образом методом аналогии, сформулированных на основе фактических данных по обводненности многочисленных рудников Восточного Казахстана. Информация необходима для специалистов геологического профиля.*

*Мақалада қатты пайдалы қазбалар кен орындарының сулануын бағалаудың практикалық әдістері, ең алдымен Шығыс Қазақстанның көптеген кеніштерінің сулануы бойынша нақты мәліметтер негізінде тұжырымдалған ұқсастық әдісі келтірілген. Ақпарат геологиялық бағыттағы мамандар үшін қажет.*

*The article shows practical methods of deposits' water content evaluation, mostly by analogue extension method, based on actual statistics of water inflow at numerous mines of the Eastern Kazakhstan. The information is essential to geology-related specialists.*

**Ключевые слова:** водоприток, дренажные воды, источники формирования притоков, зона трещиноватости, глубина развития обводненных трещин.

Восточный Казахстан является высокоразвитой в промышленном отношении территорией. Основу промышленности составляет минерально-сырьевая база. Наиболее ценные, крупные месторождения цветных металлов и золота приурочены к сложно и интенсивно дислоцированным палеозойским отложениям, породам и интрузивным образованиям, слагающим палеозойский фундамент, водопроницаемым лишь по зонам трещиноватости, сформированным процессами выветривания или тектоническими процессами (карстующиеся породы имеют ограниченное распространение).

Важным является положение полезного ископаемого по отношению к местным базисам эрозии (реки, долины и др.). Этим определяется возможность участия в питании подземных вод осваиваемых месторождений водных ресурсов водосборных бассейнов, тяготеющих к месторождению.

Выше местного базиса эрозии месторождения в подавляющем большинстве сдренированы, необводнены. В обводнении месторождений, расположенных ниже базиса эрозии,

участвуют различные виды водных ресурсов, существенно меняющиеся по территории, в т.ч. транзитный поверхностный сток.

Как показал многолетний опыт эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых, степень обводненности (величина водопритока в горные выработки и изменения ее во времени) зависят главным образом от следующих факторов:

- наличия источника питания подземных вод, количества водных ресурсов, изменчивости или постоянства их во времени;
- водопроницаемости перекрывающих полезное ископаемое пород (слабо- и водонепроницаемый чехол препятствует питанию подземных вод, поэтому водопритоки минимальны; хорошо водопроницаемые породы создают благоприятные условия питания, сбрасываемые естественные запасы подземных вод восполняются, что приводит к формированию повышенных величин водопритоков).

На значительных площадях верх разреза сложен покровными суглинистыми четвертичными отложениями, глинистыми образованиями коры выветривания или глинистыми отложениями неогена и палеогена. Это исключает возможность формирования водопритоков в заметных количествах. В Восточном Казахстане отсутствуют регионально выдержанные, достаточно мощные водоносные горизонты с региональным подземным стоком. Гидрогеологические структуры ограничены в плане и разрезе, что обусловило преимущественное совпадение областей питания, распространения и разгрузки подземных вод, ограниченность естественных запасов по сравнению с объемом питания за достаточно продолжительный срок.

Водопритоки в горные выработки формируются за счет привлекаемых ресурсов, естественных ресурсов и естественных запасов. Доля участия каждого из указанных источников на конкретных месторождениях зависит от гидрогеологических условий (строения) месторождения, а также от изменчивости питания по сезонам года. Основными источниками формирования водопритоков являются привлекательные ресурсы для месторождений в речных долинах с транзитным поверхностным стоком; естественные ресурсы – для месторождений в речных долинах с сезонным поверхностным стоком, в межгорных впадинах и особенно вдали от речных долин и межгорных впадин. Естественно, запасы имеют существенное значение для месторождений в начальный период освоения при вскрытии горными выработками. В методическом отношении изложенное позволяет обоснованно говорить о необходимости самого тщательного анализа и прогноза водного баланса в естественных условиях и при эксплуатации, особенно в части определения количества естественных и привлекаемых ресурсов. Естественные запасы достаточно определять приближенно для обоснования величин притоков при вскрытии месторождений.

Основными по количеству, ценности руд, по глубине, объему вскрытия горными выработками массива пород являются месторождения цветных и редких металлов. Массивы коренных палеозойских пород водопроницаемы лишь по отдельным зонам.

Под обводненными зонами разломов, тектоническими зонами дробленных пород мы понимаем не региональные крупные зоны нарушений, являющиеся часто границами структурно-офациальных зон (Иртышская, Северо-восточная, Кызыловская зоны смятия, Чарский, Чингизский главный и другие разломы) и картируемые при геологических съемках различного масштаба, а достаточно мелкие их проявления в виде межконтактных зон срыва, серии трещин без заметного смещения пород, обуславливающих повышенную линейную водопроницаемость пород на фоне слабо проницаемых или почти монолитных. Такие зоны определяются при достаточно детальных работах (масштаб 1:5000-1:25000) с помощью дешифрирования аэрофотоснимков, детальными (внемасштабными) геофизическими исследованиями по профилям вкрест этих зон по искажению, понижению, изменчивости, неоднородности геофизического поля. В самой зоне породы облада-

ют хаотической проницаемостью, могут встречаться пережимы с притертыми стенками трещин и полостеобразные скопления открытых трещин. Иногда зоны имеют сложное строение в пространстве: прямолинейность - необязательный признак зон.

Размеры наиболее трещиноватых зон в плане вкрест простирания обычно не превышают первых метров, редко первых десятков метров. По простиранию они достигают сотен метров и более. В условиях зоны проявления агентов выветривания глубина трещиноватости ограничивается 15-20 м, редко более. Открытая трещиноватость тектонического происхождения на Рудном Алтае вскрыта на глубинах 100-150 м. Единичны случаи вскрытия обводненных трещиноватых зон на больших глубинах: из структурной геологической скважины глубиной 1200 м на шестом горизонте Зыряновского месторождения (глубина 240 м от поверхности земли) самоизлив температурой 18 °С, с сероводородом, расход около 5 м<sup>3</sup>/час.; в стволе шахты «Тишинская» на глубине 440 м вскрыта зона интенсивной трещиноватости, имеющая гидравлическую связь с аллювиальным водоносным горизонтом реки Ульбы, с водопритокком около 50-80 м<sup>3</sup>/ч.

По фильтрационным свойствам трещиноватые породы резко анизотропны и в общем слабо водопроницаемы в массиве. Естественно поэтому, что от дренирующих горных выработок развивается сравнительно небольшая депрессионная воронка, по отдельным направлениям радиус влияния может достигать 2100-3200 м, соответственно область питания (дренирования) ограничена, может достигать 10 км<sup>2</sup>.

В условиях ограниченной области питания и ограниченного питания при малой водоотдаче трещиноватых пород водопритокки не могут формироваться в достаточно больших количествах (более 30-50 м<sup>3</sup>/час), причем колебания водопритока определяются динамичностью питания. Рядовые водопоявления приурочены к хаотически расположенным трещинам, стволам не ликвидированных геологоразведочных скважин, расходы их от капеза до слабого струйного истечения с расходами до 5 м<sup>3</sup>/час.

Формирование водопритокков на нижних горизонтах происходит главным образом перетоком с верхних выработок и из вскрытых стволов разведочных скважин. Характерно, что из этих же стволов скважин нет ни одного случая излива на подошве выработок. Это является объективным показателем отсутствия ниже вскрытой части месторождения водоносных структур и подземных вод, способных принять участие в формировании дополнительных водопритокков к фактически существующим. Наблюдения за водопритокками показывают, что подземные воды месторождений приурочены к горным породам с невыдержанными низкими фильтрационными свойствами, уменьшающимися с глубиной, естественные запасы подземных вод ограничены.

Наибольшие сравнительно постоянные водопритокки отмечаются под речными долинами с постоянным речным стоком. Вдали от речных долин и впадин водопритокки небольшие, но наиболее динамичны во времени, а величина их зависит от водности года, что отображает условия формирования за счет инфильтрации атмосферных осадков.

В условиях дефицита влаги (неблагоприятные условия питания) водопритокки из отдельных зон обычно составляют единицы и первые десятки м<sup>3</sup>/час, при годовом количестве осадков более 400-500 мм – до 250 м<sup>3</sup>/час. Поступление воды происходит по трещиноватым зонам. Из 230 зарегистрированных случаев прорыва из трещиноватых зон на Рудном Алтае водопритокки составляли до 10 м<sup>3</sup>/час – 80% случаев; 11-20 м<sup>3</sup>/час – 7%; 21-40 м<sup>3</sup>/час – 9%; 41-60 м<sup>3</sup>/час – 3%. Со временем водопритокки значительно уменьшаются и через 50-180 суток (309 случаев) составляли до 10 м<sup>3</sup>/час – 95% случаев; 10-20 м<sup>3</sup>/час – 3%; 21-50 м<sup>3</sup>/час – 2%.

Совершенно уникальным является прорыв подземных вод из тектонической зоны в Чекмарскую штольню: при первоначальном напоре над кровлей выработки 130 м из зоны мощностью 11 м (глыбовый материал) мгновенный приток из взорванной зоны без снятия напора достиг 3000 м<sup>3</sup>/час, через 6 часов – 500-600 м<sup>3</sup>/час, через 1 месяц – 200-250 м<sup>3</sup>/час.



Тщательное наблюдение за уровнем подземных вод величиной водопритока по сети геологоразведочных скважин и, а также анализ этих материалов позволили определить некоторые расчетные гидрогеологические параметры трещиноватых водовмещающих пород для большого массива пород:

- водоотдача от 0,00001 до 0,0080, средняя арифметическая 0,0008; коэффициент водопроводимости от 8 до 28; средний арифметический  $22 \text{ м}^2/\text{сут}$ ; радиус воронки депрессии превысил 1500 м (около 1800-2200 м), величина понижения уровня в наблюдательных скважинах 2,6-77 м.

Эти показатели можно считать условно представительными и использовать в аналогичных условиях при приближенных прогнозах водопритоков в горные выработки. Гидродинамические прогнозы водопритоков, в том числе математическое моделирование, неприменимы ввиду невозможности схематизации природных условий для расчетов.

Зоны, подобные вскрытой Чекмарской штольне, встречаются и могут встречаться на других месторождениях. Наиболее вероятны они при пересечении нарушенных хрупких окремненных, ороговикованных пород. Уникальность большой величины прорыва подземных вод обусловлена нарушением элементарных технологических правил проведения горных работ – зона вскрыта мгновенно взрывом без предварительного снятия напора и дренирования подземных вод системой опережающих забой шпуров и скважин.

Вблизи речных долин, выполненных водонасыщенными четвертичными отложениями, и под долинами водопритоки в горные выработки сравнительно стабильны во времени в связи с наличием постоянного источника питания (величина водопритока в паводок увеличивается не более чем на 30% по сравнению с меженью). Общая величина водопритока достигает 300-1000  $\text{м}^3/\text{час}$ , причем поступление из одиночных зон может достигать 120-180  $\text{м}^3/\text{час}$  без заметного уменьшения во времени. Водоприток в песчано-гравийный карьер, расположенный в 50-100 м от русла р. Иртыш, при снижении уровня на 6-7 м составляет 1800-3000  $\text{м}^3/\text{час}$ . По величине водопритока при отработке рудных месторождений не требуется проведение специальных осушительных мероприятий (кроме глубоких карьеров с бортами в обводненных рыхлых отложениях), но необходимо надежное прогнозирование зон и предварительное снятие напоров воды в них опережающими шпурами, скважинами. При выборе мест заложения стволов шахт необходимо избегать нарушенных участков, а в случае неизбежного пересечения обводненного тектонического нарушения весьма целесообразно и эффективно предварительное водопонижение с помощью дренажных скважин.

При типизации месторождений твердых полезных ископаемых по гидрогеологическим условиям (условиям формирования водопритоков) приняты следующие основные признаки: положение к базису эрозии, условия питания, водопроницаемость пород между источником питания и полезным ископаемым, характер водопроницаемости вмещающих пород.

Для месторождений, расположенных выше местного базиса эрозии, важно определить положение объекта отработки на приводораздельном участке или на склоне. В первом случае водоприток формируется только за счет местных атмосферных осадков (большинство месторождений нерудных материалов, а также Греховское, Мизек, Тайжузгенское, Покровское) и весьма динамичен (изменчив) – от нуля в межень до некоторых величин, чаще всего небольших (до первых десятков  $\text{м}^3/\text{час}$ ) в периоды выпадения дождей и снеготаяния. Увеличения водопритока с увеличением глубины отработки обычно не происходит (может увеличиваться лишь с увеличением площади вскрытия). На месторождениях, расположенных на склонах, в обводнении выработок могут участвовать, кроме осадков, подземные воды, формирующиеся на прилегающих территориях склона (карьерная часть Тишинского, Гусликовское, Чекмарское и Юбилейно-Снегирихинское до уровня штольни, Баймурза, Ахметкино, Калай-Тапкан, Богатыревское, Малеевское до уровня долин и др.).

Наиболее обводнены месторождения, расположенные ниже местного базиса эрозии. При этом весьма важно положение его по отношению к речным долинам и межгорным впадинам в том смысле, что являются ли к будущей системе выработок поверхностные и подземные воды аллювиальных и аллювиально-пролювиальных водоносных горизонтов источниками формирования водопритоков. А это зависит от водопроницаемости пород между источником питания и полезным ископаемым (в т.ч. вмещающие полезное ископаемое горные породы, которые вскрываются подготовительными или очистными выработками). В условиях прямой связи с р. Иртыш водоприток в Защитинский песчано-гравийный карьер достигал 3000 м<sup>3</sup>/час и увеличивался с увеличением и площади, и глубины вскрытия. В сравнительно затрудненных условиях связи водопритоки изменяются от 500-1000 м<sup>3</sup>/час (Тишинское ниже уреза русла р. Ульбы, Зыряновское, Риддер-Сокольское) до 200-300 м<sup>3</sup>/час (Глубочанские залежи, Чекмарское ниже долины Убы, Секисовское).

На месторождениях, где между полезным ископаемым и долиной (источником питания) залегают слабо водопроницаемые суглинисто-глинистые или монолитные коренные породы, водные ресурсы сосредоточены в долине и очень незначительно влияют на водоприток (20-40 м<sup>3</sup>/час, Иртышское, северо-запад и центр Белоусовского, Ново-Березовское, Березовское). Водоприток отличается стабильностью, мало изменяется с увеличением глубины вскрытия.

Даже если месторождение и выработки располагаются ниже базиса эрозии, но в слабо водопроницаемых породах, водопритоки не превышают 20-40 м<sup>3</sup>/час (Джерек, Боко, Акжал, Бакырчик, Октябрьское, Мальва и др.). Причем с увеличением глубины и площади водоприток увеличивается незначительно, но зависит от водности года (количества и времени выпадения осадков – Николаевский рудник, Бакенное и др.), то есть понятие «в долинах и впадинах» надо понимать не как географическое, а как гидравлическое.

Подавляющее большинство горных пород, слагающих территорию Восточного Казахстана, химически инертно. В них формируются подземные воды, которые при водоотливе из горных выработок не требуют специальных методов очистки, кроме техногенных загрязнителей (нефтепродуктов, взвешенного вещества, соединений азота). На таких месторождениях должны предусматриваться и выполняться простейшие сооружения для очистки стоков.

Более сложно стоит вопрос с охраной природы (в части защиты водных источников от загрязнения) на месторождениях, где полезное ископаемое связано с сульфидами металлов (большинство наиболее ценных крупных месторождений).

При вскрытии сульфидных месторождений происходит существенное изменение гидрохимических условий, усиливаются процессы окисления сульфидов (особенно пирита) за счет кислорода воздуха при аэрации пород в подготовительных, очистных выработках и отвалах. Это приводит к формированию сульфатных, на отдельных участках сильно кислых вод. Такие воды агрессивны к бетонам и стальным конструкциям. В сточных водах появляются специфические загрязняющие компоненты – медь, цинк, свинец, сульфаты, селен, железо, марганец, содержание которых многократно превышает допустимые. На таких объектах на основе анализа состава руд и изучения опыта эксплуатации подобных месторождений делаются выводы и рекомендации по охране природы [1].

#### Список литературы

1. Белянин В.И. Гидрогеохимия рудных месторождений Восточного Казахстана и охрана водных ресурсов / В.И. Белянин, Л.С. Манучарян // Науки о земле в Казахстане: Докл. каз. геологов / Междунар. геол. конгресс. – КазГео, 2012. – МГК-34. – С. 418-427.
2. Белянин В.И. Эксплуатационные ресурсы подземных вод Восточного Казахстана // Геология и охрана недр. – 2013. – № 1 (46). – С. 63-69.

Получено 13.08.2018

УДК 622.276.43

**А.Б. Сейден**

Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, г. Алматы

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ УЗЕНЬ**

*В статье раскрывается проблема подготовки нефтепромысловых вод, закачивающихся в систему поддержания пластового давления на месторождении Узень. Рекомендован эффективный метод глубокой очистки пластовой воды, способствующий улавливанию твердых взвешенных частиц.*

*The article reveals the problem of treatment oilfield waters pumped into reservoir pressure maintenance system at Uzen field. High performance method for deep cleaning of formation water is recommended, which facilitates the trapping of solid suspended particles.*

*Мақалада Өзен кен орнындағы қат-қабаттық қысымды ұстау жүйесіне түсетін мұнай суларын дайындау мәселесі көрсетілген. Тұтқындалған суды терең тазалаудың тиімді әдісі ұсынылады, бұл қатты бөлшектерді алуды жеңілдетеді.*

**Ключевые слова:** пласт, вода, нагнетательная скважина, закачка, водоподготовка, нефть.

Процесс вытеснения нефти водой, закачиваемой в продуктивный пласт, следует относить к наиболее эффективным МУН, так как она обеспечивает поддержание пластового давления (ПДД), интенсификацию разработки и увеличение КИН. Это достигается за счет приближения зоны повышенного давления (нагнетательных скважин) к зоне отбора (добывающим скважинам). Эффективность процесса во многом зависит от качества закачиваемой воды.

Требования к нефтепромысловым сточным водам как рабочему агенту для заводнения предъявляются по трем основным показателям: содержанию эмульгированной нефти (нефтепродуктов) и частиц твердых механических примесей, микробиологической и химической совместимости ее с пластовой водой и породой коллекторов. Для того чтобы избежать осложнений при закачке воды в пласт, закачиваемая вода должна соответствовать определенным нормам качества согласно СТ РК 1662-2007, которые для мехпримесей и нефтепродуктов составляют не более 50 мг/л (см. табл.).

*Физико-химические параметры сточной воды согласно требованиям СТ РК-1662-207*

Проницаемость пористой среды коллектора, мкм <sup>2</sup>	Коэффициент относительной трещиноватости коллектора	Допустимое содержание в воде, мг/л	
		механических примесей	нефти
до 0,1 вкл.	-	до 3	до 5
свыше 0,1	-	до 5	до 10
до 0,35 вкл.	от 6,5 до 2 вкл.	до 15	до 15
свыше 0,35	менее 2	до 30	до 30
до 0,6 вкл.	от 35 до 3,6 вкл.	до 40	до 40
свыше 0,6	менее 3,6	до 50	до 50

Приведем пример. Нефтегазовое месторождение Узень, которое введено в промышленную разработку в 1965 году, в настоящее время находится на поздней стадии эксплуатации. Комплекс сооружений по сбору и подготовке нефти, газа и воды, имеющих на этом месторождении, включает в себя большой набор сложных объектов основного и вспомогательного назначения. Отличительной особенностью эксплуатации месторождения является ежегодный рост обводненности добываемой продукции, которая в настоящее время превышает в среднем 88%, что в свою очередь значительно осложняет условия эксплуатации объектов сбора и подготовки нефти, газа и воды.

Применяемая в настоящее время технология предварительного сброса попутнодобываемой воды (УПСВ-1, УПСВ-2) осложнена поступлением с нефтяных промыслов больших

объемов жидкости, которая превышает проектную производительность этих объектов.

Из-за повышенной нагрузки по жидкости, поступающей на УПСВ-1 и УПСВ-2, происходит нарушение времени отстоя продукции в технологических аппаратах, что приводит к ухудшению параметров воды, подаваемой для ППД, и несоответствию качества воды, подаваемой для закачки в пласты, требованиям нормативной документации РК. Принципиальная технологическая схема модернизированной БКНС ППД представлена на рис. 1.

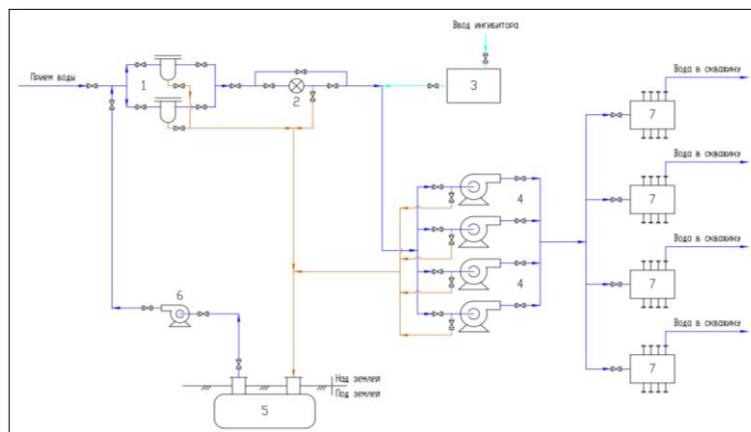


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема модернизированной БКНС системы ППД [1]

Данные факторы негативно влияют на межремонтный период добывающих скважин по причине преждевременного отказа подземного оборудования из-за засорения глубиннонасосного оборудования различными механическими примесями вследствие повышенной коррозионной активности добываемой продукции, повышенной минерализации попутно добываемой продукции и интенсивного образования разных видов солейотложений [2]. Твердые частицы в закачиваемой воде непосредственно влияют на давление закачки и степень ухудшения коллекторских свойств малопроницаемого песчаника [3, 4]. Контроль за составом закачиваемой воды и анализ нефтепродуктов и механических примесей в ней проводится ежедневно. Результаты контроля качества закачиваемой воды на этом месторождении приведены на рис. 2. По полученным независимыми институтами данным видно, что установлены концентрации содержания мехпримесей в закачиваемой воде на входе БКНС, превышающие нормативные показатели. Следовательно, процесс водоподготовки требует усовершенствования в части удаления механических примесей.

Основные методы очистки нефтепромысловых сточных вод в отрасли — механические и физико-химические [5]. Самый распространенный — это метод отстаивания как наиболее простой и дешевый, во многих случаях обеспечивающий необходимые требования к качеству воды. На большинстве объектов применяют только этот метод, а на некоторых — в сочетании с фильтрацией и физико-химическими методами. Метод отстаивания хотя и прост, но имеет недостатки: большая зависимость качества очистки от характеристик загрязняющих включений (дисперсности, стабильности и др.), длительность процесса и т. д. Поэтому в последние годы для повышения производительности оборудования и глубины очистки стоков были разработаны такие средства, как отстойники тонкослойного отстаивания с коалесцирующим фильтром, фильтры, трехпродуктовые гидроциклоны и др.

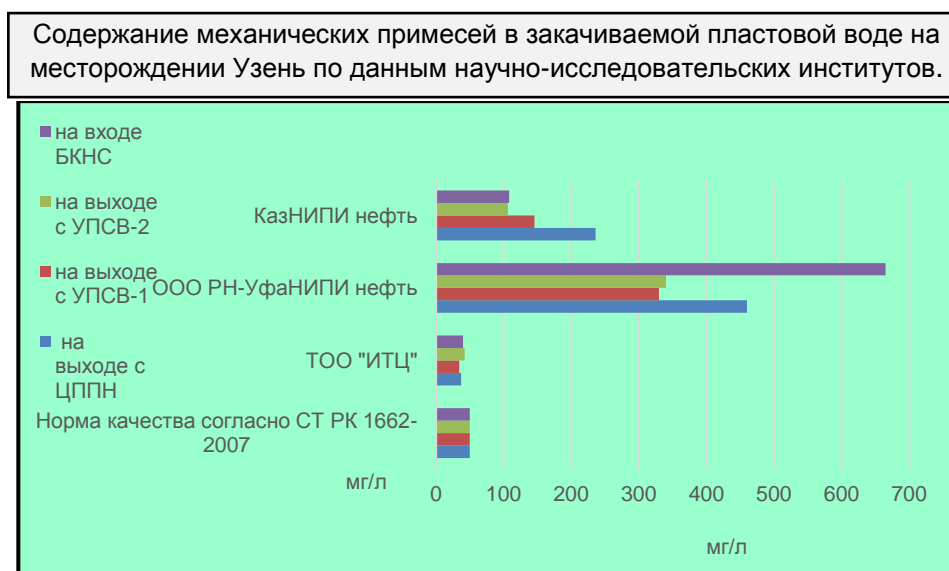


Рисунок 2 - Результаты контроля мехпримесей и нефтепродуктов (среднемесячные показатели) в закачиваемой воде месторождения Узень

Следует отметить, что проведенные Гребневым В.Д. и др. изучения в Пермском национальном исследовательском политехническом университете [6] для совершенствования и повышения надежности эксплуатации систем ППД, снижения затрат с учетом требований к качеству воды позволили разработать систему промышленной подготовки воды. Основными отличиями предлагаемой системы от ранее разработанных являются создание разрежения во всасывающем коллекторе и обеспечение движения воды на приеме центробежного насоса путем установки струйного насоса. Однако данная система сдерживается отсутствием четко аргументированных теоретических представлений решения проблем глубокой очистки пластовой воды от взвешенных твердых частиц.

Большинство исследований показывают, что качество воды является очень важным параметром для пластовых процессов. Садриев И.И., Муслимов А.Ш. рекомендуют внедрение каскадной технологии очистки пластовых вод для поддержания пластового давления на Южно-Ромашкинской площади Ромашкинского месторождения [7]. При этом рекомендуемая технология обусловлена дорогой ценой, необходимостью дополнительных установок по подготовке воды, а в случае их наличия в отдаленности еще и необходимостью строительства дополнительных низконапорных водоводов.

Исангулов А.К. и др.[8, 9] обобщили опыт внедрения фильтров для тонкой очистки воды в системе ПДД Южно-Хыльчуйского месторождения. Недостаток данного технического решения состоит в том, что дополнительно принятые искусственные сетчатые, тканые и мембранные фильтры недолговечны. Также есть необходимость определенного давления для продавливания воды через мембрану и задержки полезных микроэлементов.

В Казанском государственном архитектурно-строительном университете (КГАСУ) разработаны и внедрены гидроциклонные установки для подготовки воды, используемой для заводнения продуктивных горизонтов. Для снижения концентрации нефтепродуктов и механических примесей в нефтепромысловых сточных водах до 10 мг/л их после обработки в установках типа «блок гидроциклон – отстойник» или «блок гидроциклон – цилиндрические камеры – отстойник» целесообразно направлять на доочистку в фильтро-

вальные установки, состоящие из скорых или сверхскоростных фильтров. Блочные гидроциклонные установки имеют высокую удельную производительность, компактность, полностью автоматизированы, представляют собой блоки полного заводского изготовления; дают возможность для создания эффективной технологии очистки нефтепромысловых сточных вод при наименьших материальных и энергетических затратах. Недостатком данной технологии является невысокая степень разделения, сложность удаления всплывающих веществ [10].

В своей статье [11] Голубев И.А. изложил существующую проблему подготовки сточных вод, закачивающихся в систему ПДД. Следствием некачественного надзора за закачкой является загрязнение пластов и низкий коэффициент нефтеотдачи. Засорение пласта обуславливается наличием в воде мелкодисперсных частиц, остатков нефтепродуктов и механических примесей, которые в свою очередь вызывают коагуляцию пор, каналов и трещин. Кроме этого, постоянное увеличение обводненности добываемой продукции привело к тому, что существующие установки подготовки воды не могут справиться с такими большими объемами продукции и не доводят воду до необходимого качества. Для решения этих проблем предлагается использовать установки кустового сброса, позволяющие утилизировать основную массу пластовой воды непосредственно на месторождении, предварительно доведя ее до соответствующих норм. Рассмотрены несколько вариантов аппаратного оформления объектов кустового сброса. Показаны технологические схемы обвязки предлагаемого оборудования при внедрении его в производство. Рассмотрены предполагаемые результаты, которые планируется получить после внедрения объектов кустового сброса в разработку нефтяных месторождений на ранних этапах нефтесбора. Тем не менее применение аппаратов кустового сброса имеет ряд недостатков по сравнению с предлагаемым устройством глубокой очистки пластовой воды. Недостаточная эффективность обусловлена тем, что слабо контролируется качество подаваемой в нагнетательную скважину воды, а ее количество постоянно.

Проблемы водоподготовки в нефтедобыче рассматриваются в работах [12]. Предлагается разработка новой технологии магнитогидродинамической обработки воды и эмульсии, которая при незначительных затратах позволяет существенно снизить количество реагентов для расслаивания эмульсий, солевых и асфальтосмолистых отложений, коррозии. Кроме того, разработан эффективный способ непрерывного удаления ферро- и парамагнитных механических примесей из потока промысловой жидкости. Комплексный подход к системе сбора и промысловой подготовки продукции скважин, систем ПДД позволит значительно сократить количество ремонтов скважинного и наземного оборудования по причинам возникновения отложений и стойких эмульсий, увеличить скорость расслоения водонефтяных эмульсий и сократить количество используемого реагента, удалить из нагнетаемого потока воды системы ПДД механические железосодержащие примеси и тем самым предотвратить закупорку фильтратов нефтеносных горизонтов, повысить pH закачиваемой воды, что позволит уменьшить вынос из пласта растворенных карбонатных и сульфатных солей и одновременно повысить дебит добывающих скважин по нефти. Полезное действие магнитогидродинамической обработки зависит главным образом от напряженности и градиента напряженности магнитного поля, скорости течения и состава жидкой фазы водной системы. Между тем аппараты в первый период эксплуатации работают хорошо, но со временем эффект исчезает. Эффект при использовании данных устройств невоспроизводим, результат от их применения то наблюдается, то исчезает. Поэтому многие авторитетные учёные считают данные методы экспериментальными и требующими дополнительных научных исследований.

При любой системе водоподготовки в воде всегда остается некоторое количество взвеси твердых частиц, которые постепенно загрязняют фильтрующую поверхность при-

забойной зоны пласта (рис. 3). Интенсивность затухания фильтрации зависит от характера взвеси и размера поровых каналов заводняемого пласта. Проницаемость пласта в призабойной зоне за счет сильного загрязнения фильтрационной поверхности уменьшается в десятки раз, и промышленная закачка воды становится невозможной. Поэтому нельзя допускать систематического прогрессирующего загрязнения фильтрующих поверхностей нагнетательных скважин.

Несмотря на важность вопроса и достаточно большое число публикаций, посвященных исследованиям глубокой очистки пластовой воды от взвешенных твердых частиц и равномерной закачки ее в нефтяной пласт, вышеуказанная проблема остается актуальной на сегодняшний момент.



Рисунок 3 - Общий вид фильтра и увеличенный вид твердых взвешенных частиц

В условиях лаборатории при КазНИТУ им. К.И. Сатпаева нами были проведены анализы пластовой сточной воды, закачиваемой в пласт месторождения Узень. Количество взвешенных частиц в пластовой воде было определено согласно СТ РК 1662-2007. Из полученных результатов анализа стало известно, что масса мехпримесей составила  $Uz=3,2$  г/л, т.е. она намного превышает нормативные данные. После проведенной очистки результаты показали  $Uz-4=1,75$  г/л.

Общая минерализация пластовой воды была определена путем упаривания точного известного объема жидкости до постоянной массы и последующим взвешиванием на аналитических весах. В результате анализа минерализация пластовой воды  $Uz$  составила 49 г на литр, а после ее очистки  $Uz-4$  - 35,6 г на литр. Также на приборе Zetasizer был сделан наномер радиуса механических примесей в пластовой воде до ( $Uz-2$ ) и после очистки ( $Uz-1$ ) на месторождении Узень АО «Озенмунайгаз» (рис. 4).

Результаты измерения  $Uz-2$  показали (рис. 5), что частицы с размерами до 0,235 мкм составляют около 25%, от 0,235 до 0,270 мкм – 50%, свыше 0,270 мкм - 25%. Эти размеры твердых взвешенных частиц соизмеримы с размерами пор и капилляров. После очистки результаты по  $Uz-1$  образуют частицы с размерами до 0,0035 мкм, которые составляют около 25%, от 0,0035 до 0,004 мкм – 50%, свыше 0,004 мкм - 25%.



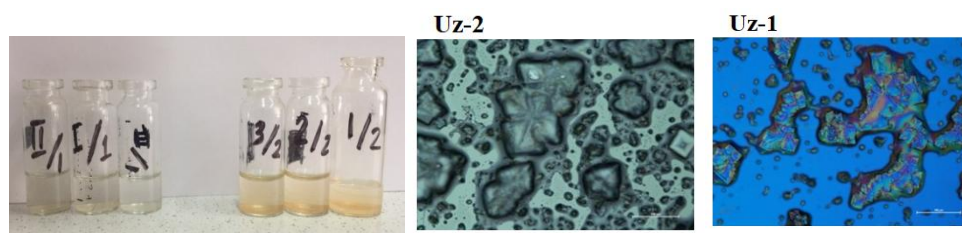


Рисунок 4 – Механические примеси в пластовой воде до очистки (Uz-2) и после (Uz-1)

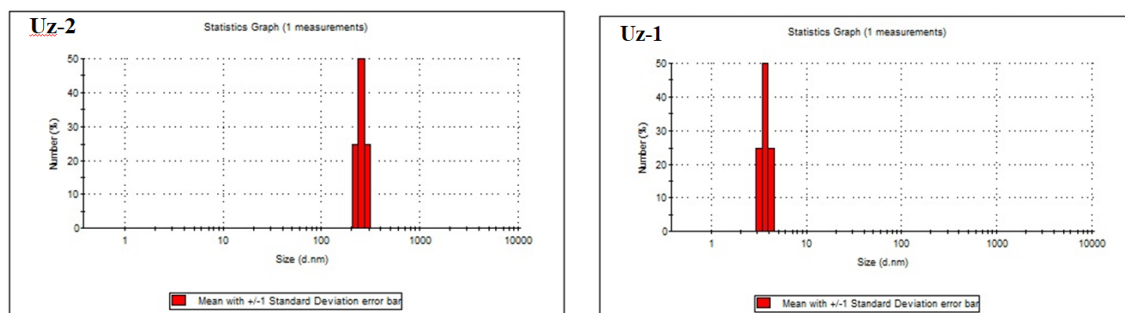


Рисунок 5 - Интенсивность распределения размеров твердых взвешенных частиц в закачиваемой в пласт воде до и после очистки

По мере эксплуатации скважин твердые взвешенные частицы, основная масса которых является глинами, накапливаясь в порах и капиллярах породы, уплотняются и способствуют образованию непроницаемых зон для закачиваемой воды. При этом вода будет вытеснять нефть только из высокопроницаемых пропластков, занимающих незначительный объем залежи. Затем происходит преждевременная обводненность скважин свыше 80%. Нами получен патент на способ глубокой очистки пластовой сточной воды со взвешенными твердыми частицами (рис. 6).

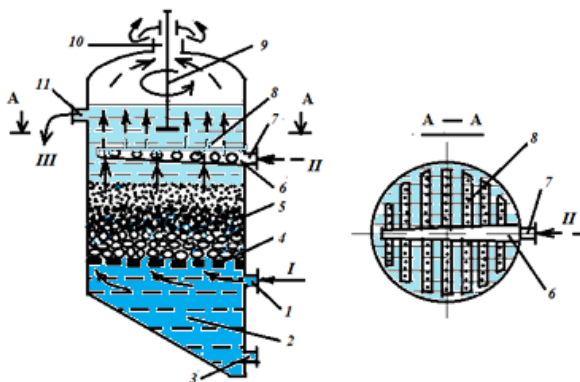


Рисунок 6 - Технологическая схема глубокой очистки пластовой сточной воды со взвешенными твердыми частицами



Задачей и техническим результатом изобретения является повышение эффективности очистки промышленных сточных и промысловых пластовых вод со взвешенными твердыми частицами. Предлагаемая нами технология позволяет существенно повысить эффективность очистки воды от взвешенных твердых частиц, сульфидовостанавливающих бактерий, предотвратить закупоривание пор взвешенными твердыми частицами и значительно увеличить производительность установки.

#### Список литературы

1. Технологический регламент БКНС месторождения Узень АО «Озенмунайгаз».
2. Mohammad A.J. Ali, Peter K. Currie. Permeability Damage due to Water Injection Containing Oil Droplet and Solid Particles at Residual Oil Saturation. – 2007 // SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference. 11-14 March. - Manama. - Bahrain. ISBN 978-1-55563-187-1.
3. Wu Jiazhong, Meng Hongli, Xu Jie, Xie Quan et al. Study on the effect of solid particle on water-flooding development in low permeability sandstone reservoir // Journal of Southwest Petroleum University, Science & Technology Edition. – 2014. - 36 (№ 1). - с. 134-138.
4. Xu Pan, Wang Wei-qiang. The improvements of injection process in the late of the oilfield development // Contemporary Chemical Industry. - 2015. – 44. - #12, с. 2844-2846.
5. Байков Н.М. Сбор и промысловая подготовка нефти, газа и воды / Н.М. Байков, Г.Н. Позднышев, Р.И. Мансуров.
6. Гребнев В.Д. Совершенствование системы промысловой подготовки воды для поддержания пластового давления // Горное дело: Реферат. журнал. – 2014. - № 7. - С. 38.
7. Садриев И.И. Внедрение каскадной технологии очистки пластовых вод для ППД на Южно-Ромашкинской площади Ромашкинского месторождения / И.И. Садриев, А.Ш. Муслимов // Горное дело: Реферат. журнал. – 2012. - № 9. - С. 37.
8. Исангулов А.К. Обобщение опыта внедрения фильтров для тонкой очистки воды в системе поддержания пластового давления Южно-Хыльчуйского месторождения // Горное дело: Реферат. журнал. - 2012. - № 6. - С. 39.
9. Исангулов А.К. Обобщение опыта проектирования и эксплуатации системы тонкой очистки воды для ППД Южно-Хальчуйского месторождения // Горное дело: Реферат. журнал. – 2011. - № 6. - 35 с.
10. Бусарев А.В. Гидроциклонные установки подготовки воды для заводнения нефтеносных горизонтов с целью повышения их нефтеотдачи / А.В. Бусарев, А.С. Селюгин, И.Г. Шешегова и др. // Нефтегазовое дело. – 2015. - № 4. - С. 199–215.
11. Голубев И.А. Пути и решения очистки промысловых вод для системы поддержания пластового давления // Нефтегазовое дело. - 2013.- № 3.- С. 87–96.
12. Ахияров Р.Ж. Проблемы водоподготовки в нефтедобыче // Трубопроводный транспорт: Сб. науч. тр. – 2006. – Уфа: Из-во УГНТУ, 2006. – С. 25.

Получено 13.08.2018