

УДК 622.06

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ БАРОМЕТРИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА МЕТАНООБИЛЬНОСТЬ МОЩНЫХ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Варгольских А.А.

Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачёва»
кафедра «Подземной геотехнологии»

Аннотация: в статье рассмотрена взаимосвязь атмосферного давления на метановыделение в действующем добычном забое, а также в ранее отработанном, изолированном пространстве, выше расположенном выемочном участке. Также рассмотрены показатели кислорода, концентрации метана, абсолютного давления в изолированном пространстве. Проведена статистическая обработка данных.

Ключевые слова: атмосферное давление, метанообильность, корреляция Пирсона, ROC-анализ, мощный пласт.

Описанные в научно-технической литературе влияния колебаний атмосферного давления на процесс метановыделения в шахтах указывают на существование такой зависимости. Изменение метановыделения под влиянием колебаний барометрического давления оказывается заметным образом только на метановыделении из выработанных пространств. Объясняется это тем, что в пустотах выработанного пространства газ находится под давлением, близким к атмосферному, и поэтому относительно быстро реагирует на изменение барометрического давления. Метан же, выделяющийся из угольного целика и вмещающих его пород, находится частично в сорбированном состоянии, частью вне сорбционного объема, но под давлением, достигающим 30-40 кг/см²[1,2].

Исследования проводились по пласту III АО «Распадская-Коксовая», где в данный момент ведется отработка первого слоя.

Для контроля концентрации метана по сети горных выработок установлены датчики метана. Для анализа показателей был принят интервал в 30 дней. по каждому датчику записывались показания каждые 3 часа. Далее приведен перечень датчиков, принятых к анализу:

- Датчик метана с исходящей струей воздуха из добычного забоя - устанавливаются на сопряжении очистной выработки с конвейерным штреком над приводом лавного конвейера. Датчик подключается к системе АГК, которая производит отключение электроснабжения выемочного участка при достижении концентрации метана в месте установки датчика 1%; на расстоянии 10 - 20 м от сопряжения с выработкой, по которой исходящая струя воздуха выдается за пределы выемочного участка. Датчик отключает электроэнергию в очистном забое при концентрации метана 1% и более.

- Датчики метана установленный на исходящей крыла шахты. Датчик отключает электроэнергию в очистном забое при концентрации метана 0,75 %.

- Датчики СКПА установленные в ранее отработанной выемочной единице, расположенной выше действующего добычного забоя.

Параметры, принятые к исследованию: абсолютное давление, концентрация метана, концентрация кислорода.

Взаимосвязь атмосферного давления и показаний датчиков оценивалась в 4 этапа. На первом этапе проверялось наличие их корреляция по Пирсону с оценкой доверительного интервала коэффициента посредством стандартных средств статистической программы R 4.1.2. На втором этапе выборка показаний датчика делилась по пороговым значениям атмосферного давления и две части выборки (разделенные этим порогом) сравнивались по критерию Стьюдента в варианте для неравных дисперсий по Уэлчу (также посредством стандартных средств статистической программы R 4.1.2). В рамках этого этапа было возможным определение доверительного интервала различия, который указывал на минимальный уровень статистически значимого изменения показаний датчика в случае снятия показаний при низком и высоком атмосферном давлении. На третьем этапе посредством стандартных инструментов IBM SPSS 26 применялся ROC-анализ. В зависимости от характера влияния атмосферного давления (понижение или повышение показаний датчика) в качестве события принимали показание датчика меньше или больше медианы, рассчитанной по всем показаниям. На четвертом этапе проводился ковариационный анализ. Его осуществляли в среде R 4.1.2 с применением пакета «car» и дисперсионного анализа III типа. Анализ позволил уточнить причинно-следственную связь между выявленным влиянием на показания датчиков атмосферного давления, с одной стороны, и фактора конкретного временного интервала снятия показаний, с другой стороны.

Зависимость показаний датчика метана с исходящей струей воздуха из добычного забоя установленного на сопряжении очистной выработки с

конвейерным штреком над приводом лавного конвейера и атмосферного давления представлена на рис. 1. Корреляция этих показателей была статистически значимой ($P < 0,01$), однако значение коэффициента корреляции было низким и составило $-0,26$ (при доверительном интервале: $-0,37 \div -0,14$). Низкий корреляционный коэффициент указывает на влияние метановыделения других горно-геологических и горнотехнических факторов.

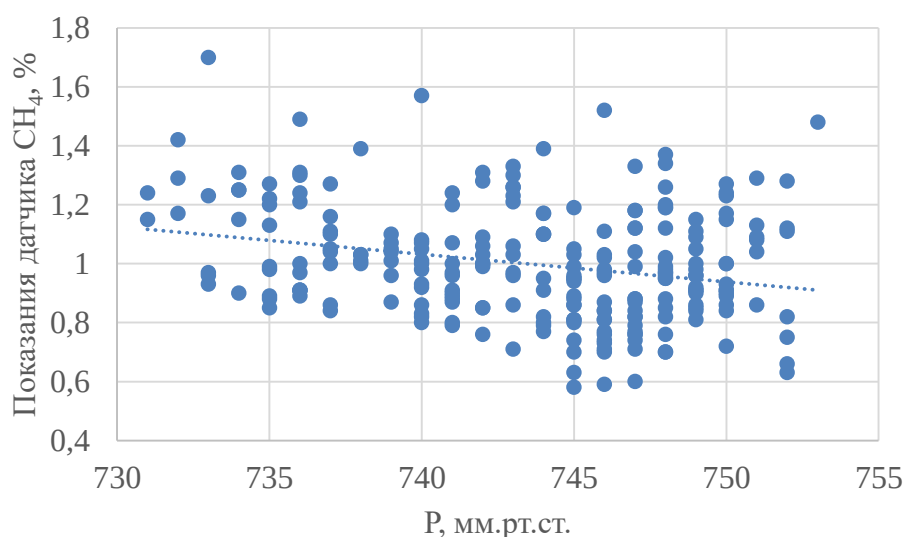


Рис. 1. Корреляция показаний датчика установленного на сопряжении конвейерного штрека с очистной выработкой и атмосферного давления

На следующем этапе совокупность значений была разделена на две части: ниже (733 мм.рт.ст.) и выше (746 мм.рт.ст) порогового значения атмосферного давления. Данные по применению критерия Стьюдента при каждой возможной величине порогового значения давления представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение двух частей выборки показаний датчика при различном уровне порогового значения атмосферного давления

Давление	n1	n2	Сред. 1	Сред. 2	P	Дов.инт. различия	
						min	max
732	2	239	1,20	1,00	$> 0,05$	-	-
733	5	236	1,25	0,99	$< 0,01$	-0,13	-0,39
734	10	231	1,21	0,99	$< 0,05$	-0,05	-0,39
735	15	226	1,20	0,99	$< 0,01$	-0,09	-0,33

Продолжение таблицы 1

736	24	217	1,14	0,98	< 0,01	-0,07	-0,24
737	35	206	1,13	0,98	< 0,01	-0,08	-0,22
738	44	197	1,11	0,97	< 0,01	-0,07	-0,20
739	49	192	1,11	0,97	< 0,01	-0,08	-0,20
740	56	185	1,10	0,97	< 0,01	-0,07	-0,18
741	69	172	1,08	0,97	< 0,01	-0,06	-0,16
742	82	159	1,06	0,97	< 0,01	-0,04	-0,14
743	93	148	1,06	0,96	< 0,01	-0,04	-0,14
744	105	136	1,06	0,95	< 0,01	-0,06	-0,16
745	117	124	1,05	0,95	< 0,01	-0,06	-0,16
746	136	105	1,03	0,96	< 0,01	-0,02	-0,12
747	155	86	1,01	0,98	ns	-	-
748	175	66	1,00	1,00	ns	-	-
749	196	45	1,00	0,99	ns	-	-
750	212	29	0,98	1,01	ns	-	-
751	227	14	1,00	1,02	ns	-	-
752	233	8	1,00	0,98	ns	-	-

Исходя из данных табл. 1 можно сделать заключение, что атмосферное давление влияет на показания датчика в сторону понижения. Интервал, в котором будут происходить изменения показания датчика будет находиться в пороговом значении давления в диапазоне от 733 до 746 мм.рт.ст. При этом, минимальное статистически значимое различие двух частей одной выборки (при пороговом значении давления 733 мм.рт.ст.) составило 10%.

Следующий этап анализа включал в себя применение ROC-анализа с предварительной модификацией показаний датчика относительно медианы: меньше или равно медиане (считалось как событие) и больше медианы (отсутствие события). Полученная ROC-кривая представлена на рис. 2.

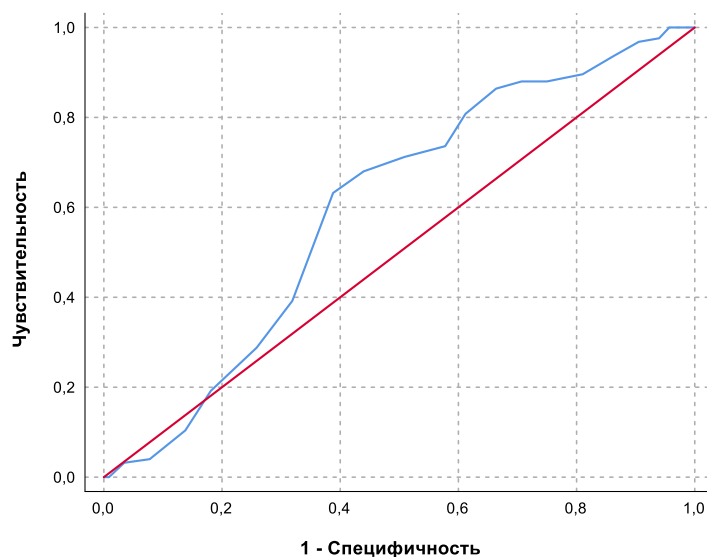


Рис. 2. ROC-кривая с опорной линией для датчика установленного на сопряжении конвейерного штрека с очистной выработкой

Площадь по кривой составила $0,600 \pm 0,37$ при доверительном интервале $0,527 \div 0,673$, что указывает на статистически значимый эффект. Индекс Юдена составил $0,244$ (чувствительность – $63,2\%$, специфичность – $61,2\%$) при пороговом значении атмосферного давления $744,5$ мм.рт.ст.

Таким образом, была показана статистически значимая, но слабо выраженная обратная корреляция ($-0,26$) между атмосферным давлением и показанием датчика. Соответственно на метановыделение влияют другие факторы. Пороговое значение атмосферного давления, при котором изменяются показаний датчика различаются по данным критерия Стьюдента (до порога – показания датчика увеличиваются, после порогового значения показания датчика уменьшаются) находится в диапазоне от 733 до 746 мм.рт.ст. при максимальном различии двух выборок – 10% при 733 мм.рт.ст. По данным ROC-анализа пороговый уровень составил $744,5$ мм.рт.ст. ниже этого значения идет увеличение метанообильности, что фиксирует датчик расположенный на сопряжении конвейерного штрека с очистной выработкой. В то же время временной интервал («фактор дня») снятия показаний имел в данном случае первостепенное значения и атмосферное давление можно рассматривать как зависимую переменную от этого фактора.

Зависимость показаний датчика, установленного на расстоянии $10 - 20$ м от сопряжения с выработкой, по которой исходящая струя воздуха выдается за пределы выемочного участка, от атмосферного давления представлена на рис. 3.

Корреляция этих показателей была статистически значимой ($P < 0,01$), однако значение коэффициента корреляции было низким и составило $-0,28$ (при доверительном интервале: $-0,39 \div -0,16$). Низкий коэффициент корреляции ($-0,28$) указывает на влияние метанообильности пласта других горно-геологических и горнотехнических факторов.

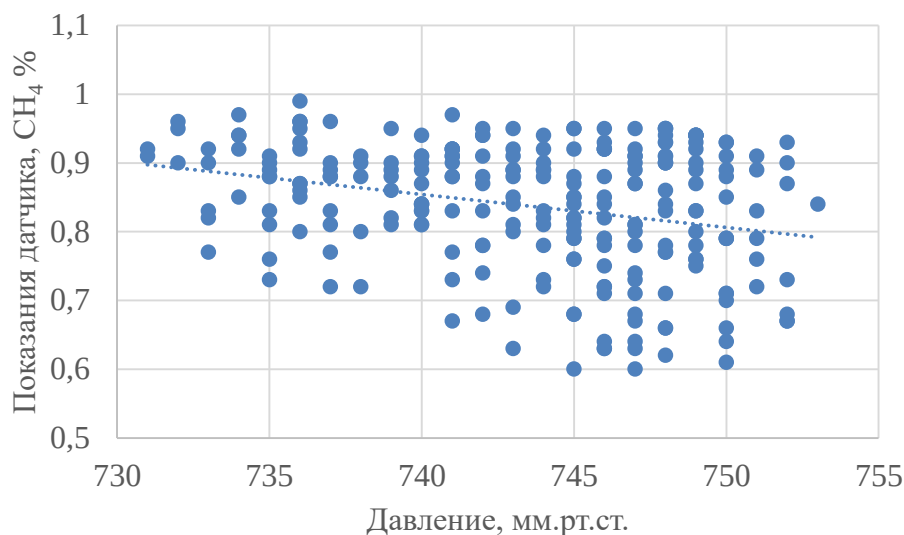


Рис. 3. Корреляция показаний датчика, установленного на расстоянии 10-20 м от сопряжения с выработкой, по которой исходящая струя воздуха выдается за пределы выемочного участка и атмосферного давления

На следующем этапе совокупность значений была разделена на две части: ниже и выше порогового значения атмосферного давления. Данные по применению критерия Стьюдента при каждой возможной величине порогового значения давления представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение двух частей выборки показаний датчика, установленного на расстоянии 10-20 м от сопряжения с выработкой, по которой исходящая струя воздуха выдается за пределы выемочного участка, при различном уровне порогового значения атмосферного давления

Давление	n1	n2	Сред. 1	Сред. 2	P	Дов.инт. различия	
						min	max
732	2	239	0,92	0,84	$< 0,01$	-0,06	-0,10
733	5	236	0,93	0,84	$< 0,01$	-0,06	-0,12
734	10	231	0,89	0,84	$< 0,05$	-0,01	-0,10
735	15	226	0,90	0,83	$< 0,01$	-0,03	-0,10

Продолжение таблицы 2

736	24	217	0,88	0,83	< 0,01	-0,02	-0,08
737	35	206	0,89	0,83	< 0,01	-0,03	-0,08
738	44	197	0,88	0,83	< 0,01	-0,03	-0,08
739	49	192	0,88	0,83	< 0,01	-0,03	-0,07
740	56	185	0,88	0,83	< 0,01	-0,03	-0,07
741	69	172	0,87	0,82	< 0,01	-0,03	-0,07
742	82	159	0,87	0,82	< 0,01	-0,03	-0,07
743	93	148	0,87	0,82	< 0,01	-0,03	-0,07
744	105	136	0,87	0,82	< 0,01	-0,03	-0,07
745	117	124	0,86	0,81	< 0,01	-0,03	-0,07
746	136	105	0,86	0,81	< 0,01	-0,02	-0,07
747	155	86	0,85	0,82	< 0,05	-0,01	-0,06
748	175	66	0,84	0,82	ns	-	-
749	196	45	0,84	0,82	ns	-	-
750	212	29	0,84	0,79	ns	-	-
751	227	14	0,84	0,80	ns	-	-
752	233	8	0,84	0,79	ns	-	-

Исходя из данных табл. 2 можно сделать заключение, что атмосферное давление влияет на показания датчика, установленного на расстоянии 10 - 20 м от сопряжения с выработкой, по которой исходящая струя воздуха выдается за пределы выемочного участка в сторону их занижения. Выявлены пороговые значения атмосферного давления в диапазоне от 732 до 747 мм.рт.ст. Соответственно в этом диапазоне можно наблюдать изменения показаний датчика, которые фиксируют метановыделение в исходящей струе добычного забоя в большую или меньшую сторону. При этом минимальное статистически значимое различие двух частей одной выборки (при пороговом значении давления 732 мм.рт.ст.) составило 7%.

Полученная ROC-кривая представлена на рис. 4.

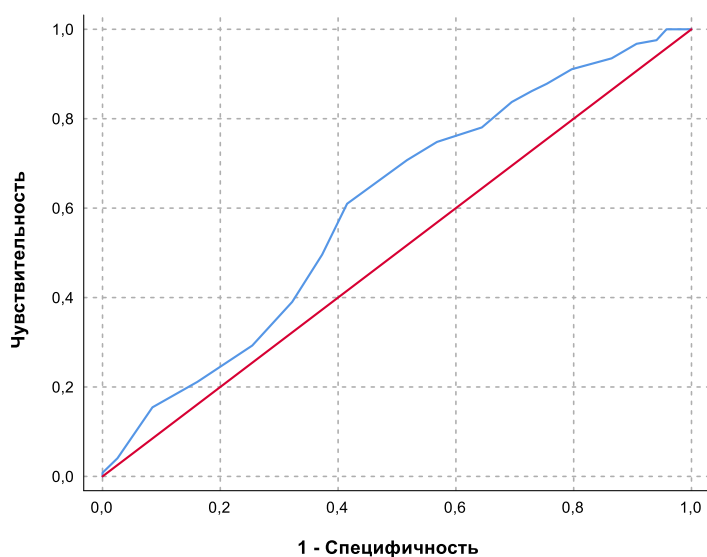


Рис. 4. ROC-кривая с опорной линией для датчика, установленного на расстоянии 10 - 20 м от сопряжения с выработкой, по которой исходящая струя воздуха выдается за пределы выемочного участка.

Оценивалось влияние на уменьшение метановыделения по показаниям датчика

Площадь по кривой составила $0,600 \pm 0,37$ при доверительном интервале $0,528 \div 0,672$, что указывает на значимый эффект. Индекс Юдена составил 0,195 (чувствительность – 61,0%, специфичность – 58,5%) при пороговом значении 744,5 мм.рт.ст.

Таким образом, была показана статистически значимая, но слабо выраженная обратная корреляция (-0,28) между атмосферным давлением и показанием датчика, установленным на расстоянии 10 - 20 м от сопряжения с выработкой, по которой исходящая струя воздуха выдается за пределы выемочного участка. Пороговое значение атмосферного давления, при котором изменяются показаний датчика различаются по данным критерия Стьюдента находится в диапазоне от 732 до 747 мм.рт.ст. при максимальном различии двух выборок – 7% при 732 мм.рт.ст. По данным ROC-анализа пороговый уровень составил 744,5 мм.рт.ст. ниже этого значения идет увеличение метанообильности пласта, что фиксирует датчик, выше уменьшение метанообильности пласта. В то же время временной интервал («фактор дня») снятия показаний имел в данном случае первостепенное значения и атмосферное давление можно рассматривать как зависимую переменную от этого фактора.

Зависимость показаний датчика установленного на исходящей крыла шахты от атмосферного давления представлена на рис. 5. Корреляция этих показателей не была статистически значимой.

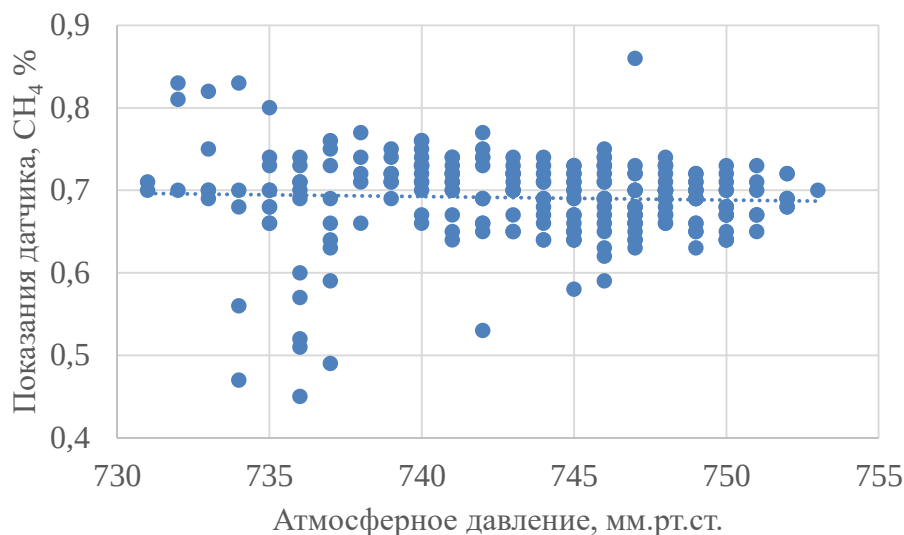


Рис. 5. Корреляция показаний датчика установленного на исходящей крыла шахты и атмосферного давления

На следующем этапе совокупность значений была разделена на две части: ниже и выше порогового значения атмосферного давления. Данные по применению критерия Стьюдента при каждой возможной величине порогового значения атмосферного давления представлены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение двух частей выборки показаний датчика, установленного на исходящей крыла шахты при различном уровне порогового значения атмосферного давления

Давление	n1	n2	Сред. 1	Сред. 2	P	Дов.инт. различия	
						min	max
732	2	239	0,71	0,69	ns	-	-
733	5	236	0,75	0,69	ns	-	-
734	10	231	0,74	0,69	ns	-	-
735	15	226	0,71	0,69	ns	-	-
736	24	217	0,71	0,69	ns	-	-
737	35	206	0,68	0,69	ns	-	-
738	44	197	0,68	0,69	ns	-	-
739	49	192	0,68	0,69	ns	-	-

Продолжение таблицы 3

740	56	185	0,69	0,69	ns	-	-
741	69	172	0,69	0,69	ns	-	-
742	82	159	0,70	0,69	ns	-	-
743	93	148	0,70	0,69	ns	-	-
744	105	136	0,70	0,69	ns	-	-
745	117	124	0,70	0,69	ns	-	-
746	136	105	0,69	0,69	ns	-	-
747	155	86	0,69	0,69	ns	-	-
748	175	66	0,69	0,69	ns	-	-
749	196	45	0,69	0,69	ns	-	-
750	212	29	0,69	0,69	ns	-	-
751	227	14	0,69	0,69	ns	-	-
752	233	8	0,69	0,69	ns	-	-

Исходя из данных табл. 3 можно сделать вывод об отсутствии тенденции к влиянию атмосферного давления на показания датчика, установленного на исходящей крыла шахты.

Следующий этап анализа включал в себя применение ROC-анализа с предварительной модификацией показаний датчика относительно медианы: меньше или равно медиане (считалось как событие) и больше медианы (отсутствие события). Полученная ROC-кривая представлена на рис. 6.

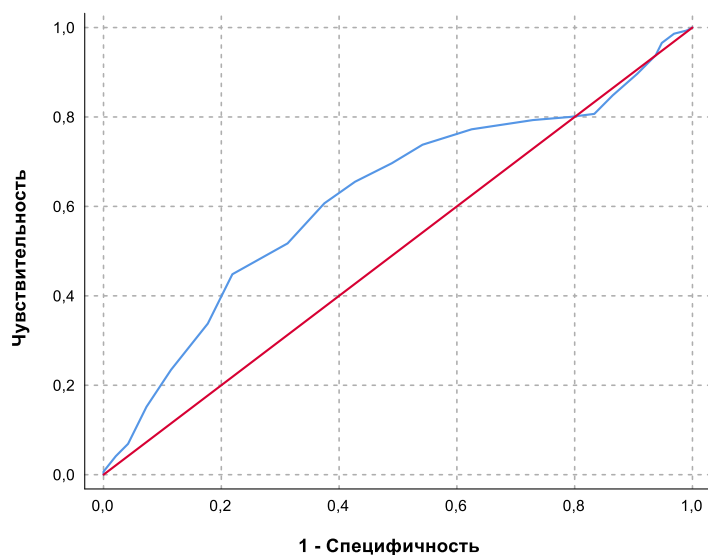


Рис. 6. ROC-кривая с опорной линией для датчика установленного на исходящей крыла шахты

Площадь по кривой составила $0,620 \div 0,37$ при доверительном интервале $0,548 \div 0,692$, что указывает на значимый эффект. Индекс Юдена составил 0,232 (чувствительность – 60,7%, специфичность – 62,5%) при пороговом значении 744,5 мм.рт.ст.

Таким образом, было показано отсутствие значимой корреляции (коэффициент корреляции Пирсона) между атмосферным давлением и показанием датчика установленного на исходящей крыла шахты. Пороговое значение атмосферного давления, при котором различия показаний датчика находится по данным ROC-анализа на уровне 744,5 мм.рт.ст. В то же время временной интервал («фактор дня») снятия показаний (по данным ковариационного анализа) имел в данном случае первостепенное значения и атмосферное давление можно рассматривать как зависимую переменную от это фактора.

Зависимость показаний датчика метана установленного на исходящей крыла шахты от атмосферного давления представлена на рис. 7. Корреляция этих показателей была статистически значимой ($P < 0,01$) при значении коэффициента корреляции – 0,59 (доверительный интервал: $0,50 \div 0,67$).

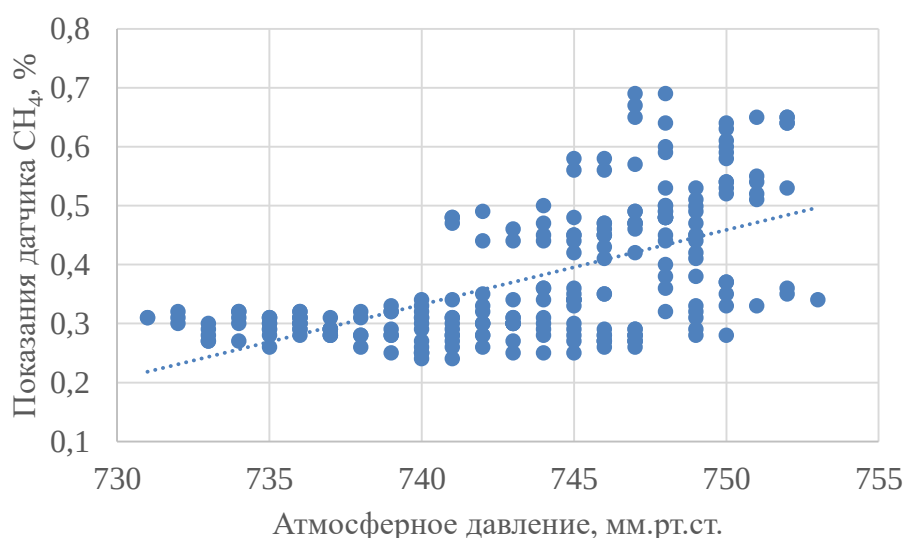


Рис. 7. Корреляция показаний датчика установленного на исходящей крыла шахты и атмосферного давления

На следующем этапе совокупность значений была разделена на две части: ниже и выше порогового значения атмосферного давления. Данные по применению критерия Стьюдента при каждой возможной величине порогового значения давления представлены в табл. 4

Таблица 4

Сравнение двух частей выборки показаний датчика, установленного на исходящей крыла шахты при различном уровне порогового значения атмосферного давления

Давление	n1	n2	Сред. 1	Сред. 2	P	Дов.инт. различия	
						min	max
732	2	239	0,31	0,38	< 0,01	0,05	0,08
733	5	236	0,31	0,38	< 0,01	0,05	0,08
734	10	231	0,30	0,38	< 0,01	0,07	0,10
735	15	226	0,30	0,38	< 0,01	0,07	0,10
736	24	217	0,30	0,39	< 0,01	0,07	0,11
737	35	206	0,30	0,39	< 0,01	0,08	0,11
738	44	197	0,30	0,40	< 0,01	0,08	0,12
739	49	192	0,30	0,40	< 0,01	0,08	0,12
740	56	185	0,30	0,40	< 0,01	0,09	0,12
741	69	172	0,30	0,41	< 0,01	0,10	0,14
742	82	159	0,30	0,42	< 0,01	0,10	0,14
743	93	148	0,30	0,42	< 0,01	0,10	0,14
744	105	136	0,31	0,43	< 0,01	0,10	0,15
745	117	124	0,31	0,44	< 0,01	0,10	0,15
746	136	105	0,32	0,45	< 0,01	0,10	0,16
747	155	86	0,33	0,46	< 0,01	0,11	0,16
748	175	66	0,34	0,48	< 0,01	0,11	0,17
749	196	45	0,36	0,47	< 0,01	0,08	0,16
750	212	29	0,36	0,51	< 0,01	0,10	0,20
751	227	14	0,36	0,52	< 0,01	0,08	0,22
752	233	8	0,37	0,52	< 0,05	0,03	0,27

Исходя из данных табл. 4 можно сделать заключение, что атмосферное давление влияет на показания датчика. При этом минимальное статистически значимое различие двух частей одной выборки (при пороговом значении давления 747 мм.рт.ст.) составило 33%.

Следующий этап анализа включал в себя применение ROC-анализа с предварительной модификацией показаний датчика относительно медианы: меньше или равно медиане (считалось как отсутствие события) и больше медианы (событие). Полученная ROC-кривая представлена на рис. 8.

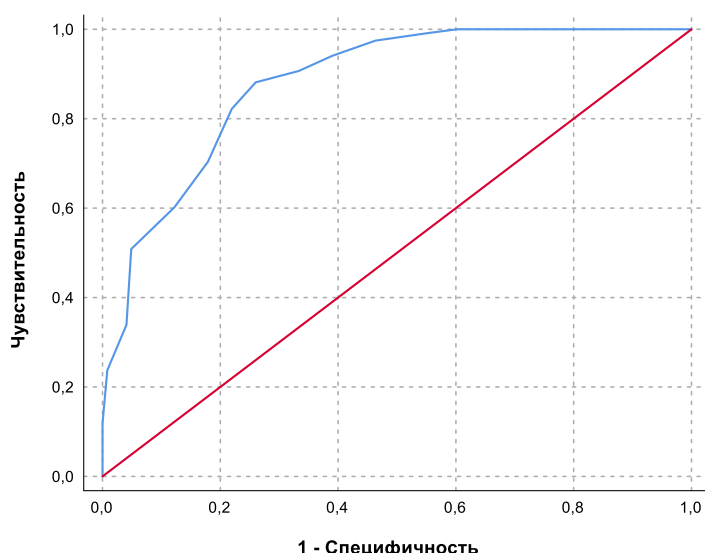


Рис. 8. ROC-кривая с опорной линией для датчика установленного на исходящей крыла шахты

Площадь по кривой составила $0,881 \pm 0,21$ при доверительном интервале $0,839 \pm 0,922$, что указывает на значимый эффект. Индекс Юдена составил 0,621 (чувствительность – 88,1%, специфичность – 74,0%) при пороговом значении 743,5 мм.рт.ст.

Таким образом, была показана статистически значимая корреляция между атмосферным давлением и показанием датчика, установленного на исходящей крыла шахты. Пороговое значение атмосферного давления, при котором различия показаний датчика установленного на исходящей крыла шахты различаются по данным критерия Стьюдента находится в диапазоне от 732 до 752 мм.рт.ст. при максимальном различии двух выборок – 33% при 747 мм.рт.ст. По данным ROC-анализа пороговый уровень составил 743,5 мм.рт.ст. При этом пороговый уровень по данным ROC-анализа составил 744,5 мм.рт.ст по показаниям датчика установленного на фланговых выработках. Уровень значимости при этом был высок: индекс Юдена составил 0,621, что считается высоким значением этого показателя. В то же время временной интервал («фактор дня») снятия показаний (по данным ковариационного анализа) имел в данном случае первостепенное значения и атмосферное давление можно рассматривать как зависимую переменную от это фактора.

Зависимость показаний датчика СДСВ-70-30 (подача свежей струи для проветривания добычного забоя) от атмосферного давления представлена на рис. 9. Корреляция этих показателей была статистически значимой ($P < 0,05$),

однако значение коэффициента корреляции было низким и составило 0,14 (при доверительном интервале: $0,02 \div 0,26$).

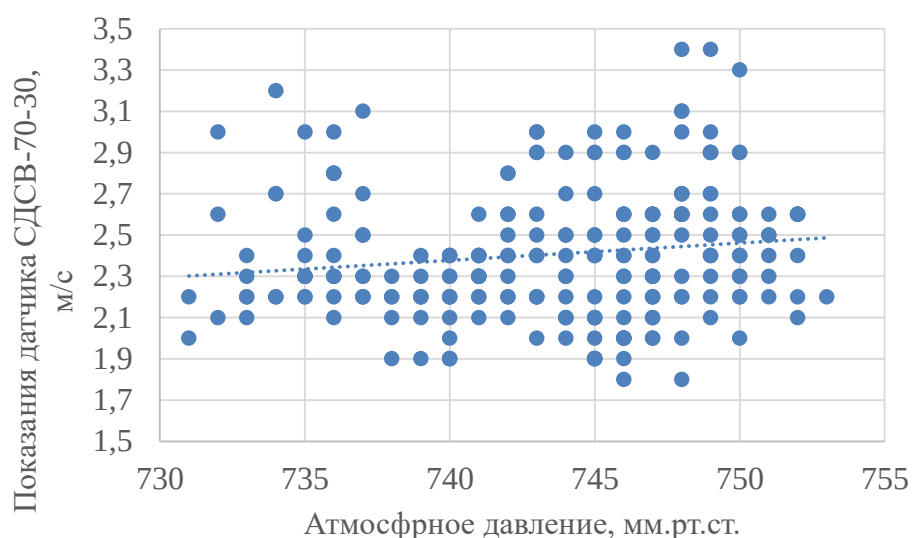


Рис. 9. Корреляция показаний датчика СДСВ-70-30 и атмосферного давления

На следующем этапе совокупность значений была разделена на две части: ниже и выше порогового значения атмосферного давления. Данные по применению критерия Стьюдента при каждой возможной величине порогового значения давления представлены в табл. 5.

Таблица 5

Сравнение двух частей выборки показаний датчика СДСВ-70-30 при различном уровне порогового значения атмосферного давления

Давление	n1	n2	Сред. 1	Сред. 2	P	Дов.инт. различия	
						min	max
732	2	239	2,10	2,40	ns	-	-
733	5	236	2,38	2,41	ns	-	-
734	10	231	2,31	2,41	ns	-	-
735	15	226	2,41	2,41	ns	-	-
736	24	217	2,41	2,41	ns	-	-
737	35	206	2,43	2,40	ns	-	-
738	44	197	2,44	2,40	ns	-	-
739	49	192	2,41	2,41	ns	-	-
740	56	185	2,38	2,42	ns	-	-
741	69	172	2,34	2,44	< 0,05	0,01	0,18
742	82	159	2,34	2,45	< 0,01	0,03	0,19

Продолжение таблицы 5

743	93	148	2,35	2,45	< 0,05	0,02	0,17
744	105	136	2,37	2,44	ns	-	-
745	117	124	2,37	2,45	< 0,05	0,001	0,16
746	136	105	2,36	2,47	< 0,01	0,04	0,20
747	155	86	2,36	2,50	< 0,01	0,06	0,23
748	175	66	2,34	2,55	< 0,01	0,10	0,28
749	196	45	2,38	2,52	< 0,01	0,04	0,25
750	212	29	2,40	2,46	> 0,05	-	-
751	227	14	2,41	2,41	> 0,05	-	-
752	233	8	2,41	2,41	> 0,05	-	-

Исходя из данных табл. 5 можно сделать заключение, что атмосферное давление влияет на показания датчика СДСВ-70-30 в сторону их завышения. Вывод справедлив для порогового значения давления в диапазоне от 741 до 723 и от 745 до 749 мм.рт.ст. При этом минимальное статистически значимое различие двух частей одной выборки (при пороговом значении давления 748 мм.рт.ст.) составило 4%.

Следующий этап анализа включал в себя применение ROC-анализа с предварительной модификацией показаний датчика относительно медианы: меньше или равно медиане (считалось как отсутствие события) и больше медианы (событие). Полученная ROC-кривая представлена на рис. 10.

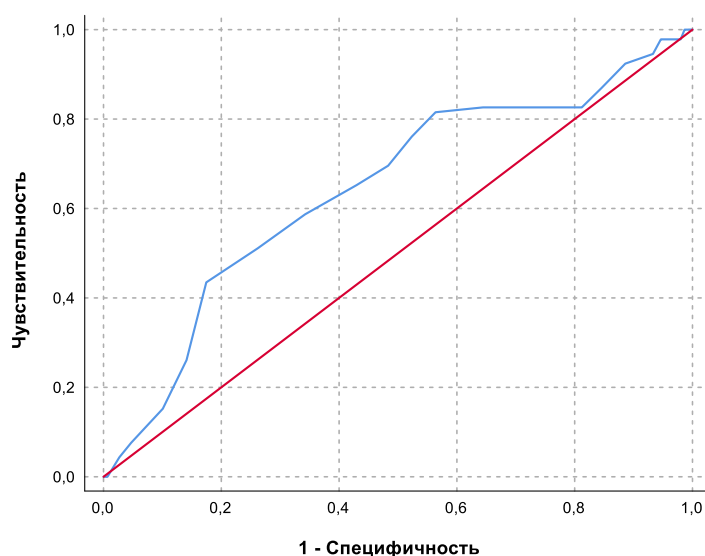


Рис. 10. ROC-кривая с опорной линией для датчика СДСВ-70-30.
Оценивалось влияние на завышение показаний датчика

Площадь по кривой составила $0,643 \div 0,37$ при доверительном интервале $0,570 \div 0,717$, что указывает на значимый эффект. Индекс Юдена составил 0,260 (чувствительность – 43,5%, специфичность – 82,6%) при пороговом значении 747,5 мм.рт.ст. На уровне 746,5 мм.рт.ст. чувствительность увеличивается до 51,1% при снижении специфичности до 73,8%.

На последнем этапе в рамках ковариационного анализа оценивался вклад конкретного дня (временного интервала) наблюдения совместно с фактором атмосферного давления. Было показано, что день, в течение которого снимаются показания датчика, имеет статистически значимое влияния, в то время как показание атмосферного давления было не значимым.

Таким образом, была показана статистически значимая, но слабо выраженная обратная корреляция между атмосферным давлением и показанием датчика 6. Пороговое значение атмосферного давления, при котором различия показаний датчик (до и после этого порогового значения) различаются по данным критерия Стьюдента (до порога – значения датчика ниже, после – выше) находится в диапазоне от 741 до 723 и от 745 до 749 мм.рт.ст. при максимальном различии двух выборок – 4% при 748 мм.рт.ст. По данным ROC-анализа пороговый уровень составил 747,5 мм.рт.ст. В то же время временной интервал («фактор дня») снятия показаний (по данным ковариационного анализа) имел в данном случае первостепенное значения и атмосферное давление можно рассматривать как зависимую переменную от это фактора.

Датчик 2 (СКАП 7682, отработка 3-3-1, СН4)

Для контроля параметров метана в отработанном и изолированном пространстве применяются станции контроля параметров атмосферы серии СКПА. Зависимость показаний датчика концентрации метана в отработанном и изолированном пространстве от атмосферного давления представлена на рис. 11. Корреляция этих показателей не была статистически значимой.

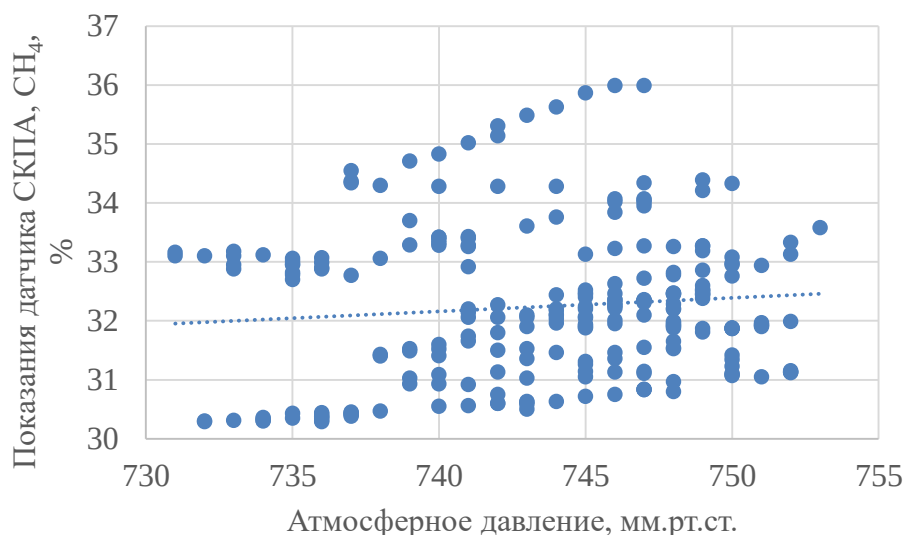


Рис. 11. Корреляция показаний датчика 2 и атмосферного давления

На следующем этапе совокупность значений была разделена на две части: ниже и выше порогового значения атмосферного давления. Данные по применению критерия Стьюдента при каждой возможной величине порогового значения давления представлены в табл. 6.

Таблица 6

Сравнение двух частей выборки показаний датчика концентрации метана в отработанном и изолированном пространстве при различном уровне порогового значения атмосферного давления

Давление	n1	n2	Сред. 1	Сред. 2	P	Дов.инт. различия	
						min	max
732	2	239	33,1	32,2	< 0,01	-0,7	-1,1
733	5	236	32,0	32,3	ns	-	-
734	10	231	32,2	32,2	ns	-	-
735	15	226	31,8	32,3	ns	-	-
736	24	217	32,0	32,3	ns	-	-
737	35	206	31,8	32,3	< 0,05	0,1	1,0
738	44	197	31,8	32,3	< 0,05	0,03	1,0
739	49	192	31,9	32,3	< 0,05	0,03	0,9
740	56	185	31,9	32,3	ns	-	-
741	69	172	32,0	32,3	ns	-	-
742	82	159	32,1	32,3	ns	-	-
743	93	148	32,1	32,3	ns	-	-
744	105	136	32,1	32,4	ns	-	-
745	117	124	32,2	32,3	ns	-	-

Продолжение таблицы 6

746	136	105	32,1	32,4	ns	-	-
747	155	86	32,2	32,3	ns	-	-
748	175	66	32,2	32,2	ns	-	-
749	196	45	32,2	32,3	ns	-	-
750	212	29	32,3	32,0	ns	-	-
751	227	14	32,3	32,0	ns	-	-
752	233	8	32,3	32,1	ns	-	-

Исходя из данных табл. 6 можно сделать заключение, что атмосферное давление не влияет на показания датчика концентрации метана в отработанном и изолированном пространстве. Выявленные статистически значимые различия носили разнонаправленный и непостоянный характер.

Следующий этап анализа включал в себя применение ROC-анализа с предварительной модификацией показаний датчика относительно медианы: меньше или равно медиане (считалось как отсутствие события) и больше медианы (события). Полученная ROC-кривая представлена на рис. 12.

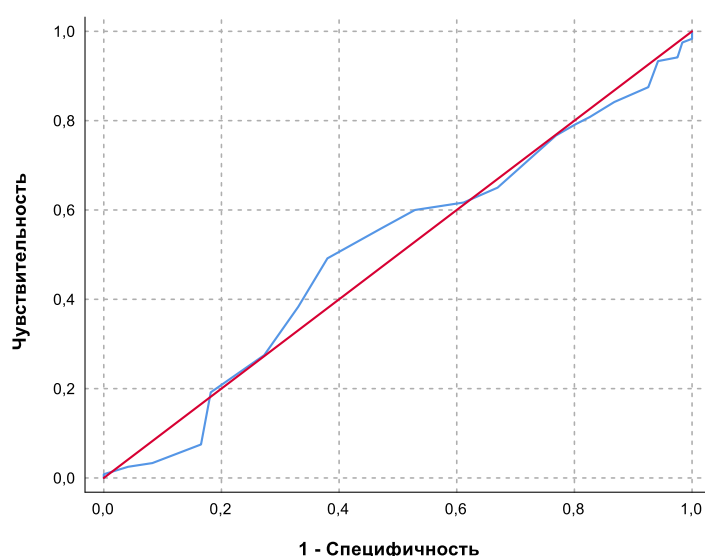


Рис. 12. ROC-кривая с опорной линией для датчика концентрации метана в отработанном и изолированном пространстве. Оценивалось влияние на повышение показаний датчика

Площадь по кривой составила $0,508 \pm 0,38$ при доверительном интервале $0,435 \pm 0,582$, что указывает на отсутствие эффекта.

Ввиду того, что факт влияния атмосферного давления на показания датчика установлен не был, последний этап (ковариационного анализ) не проводился.

Таким образом, было показано отсутствие статистически значимой корреляции между атмосферным давлением и показанием датчика концентрации метана в отработанном и изолированном пространстве. Пороговое значение атмосферного давления, при котором различия показания датчика концентрации метана в отработанном и изолированном пространстве (до и после этого порогового значения) различаются выявлено не было.

Датчик 2.1 (СКПА, пер 7682, давление)

Зависимость показаний датчика абсолютного давления в изолированном и отработанном пространстве от атмосферного давления представлена на рис. 13. Корреляция этих показателей была статистически значимой ($P < 0,01$). Коэффициент корреляции составил 0,98 (при доверительном интервале: $0,98 \div 0,99$).

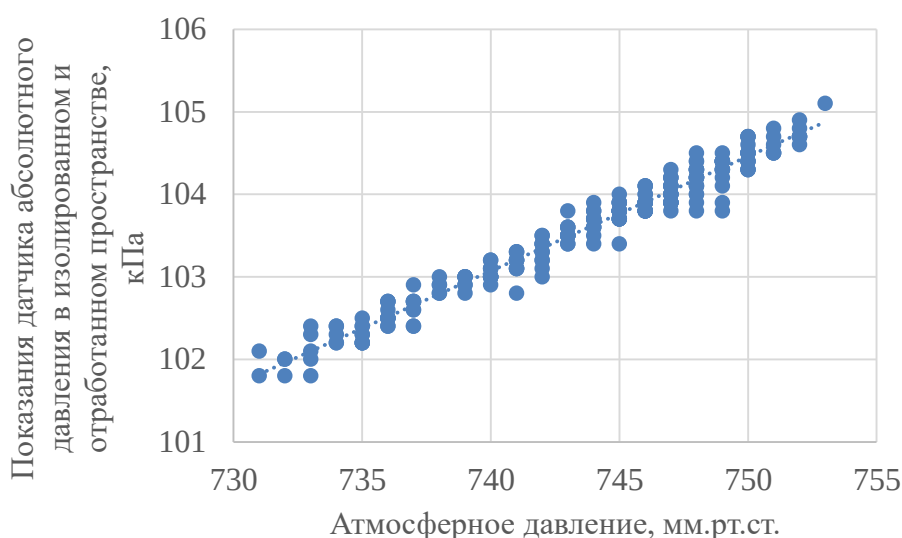


Рис. 13. Корреляция показаний датчика абсолютного давления в изолированном и отработанном пространстве и атмосферного давления

Таким образом, была показана статистически значимая корреляция (0,98) между атмосферным давлением и показанием датчика абсолютного давления в изолированном и отработанном пространстве.

Зависимость показаний датчика показания уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве от атмосферного давления

представлена на рис. 14. Корреляция этих показателей не была статистически значимой.

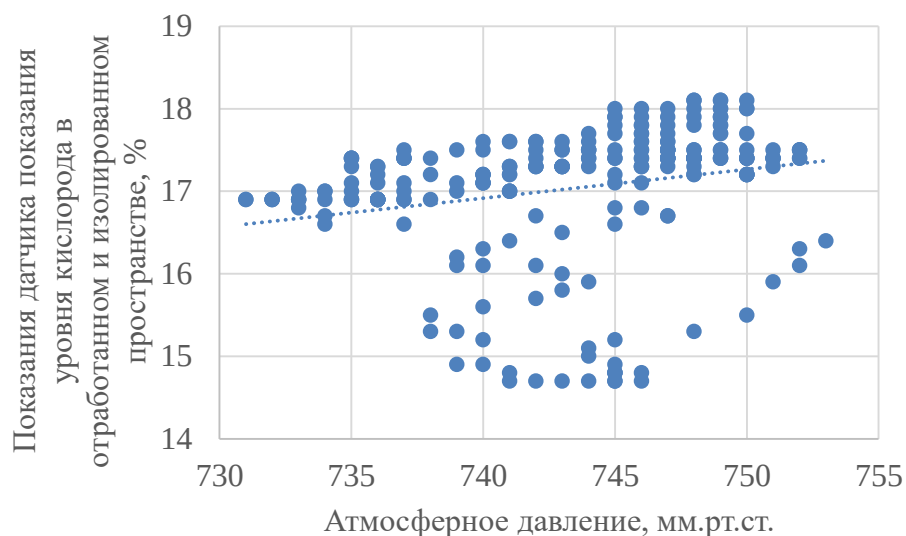


Рис. 14. Корреляция показаний датчика показания уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве и атмосферного давления

На следующем этапе совокупность значений была разделена на две части: ниже и выше порогового значения атмосферного давления. Данные по применению критерия Стьюдента при каждой возможной величине порогового значения давления представлены в табл. 7.

Таблица 7

Сравнение двух частей выборки показаний датчика показания уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве при различном уровне порогового значения атмосферного давления

Давление	n1	n2	Сред. 1	Сред. 2	P	Дов.инт. различия	
						min	max
732	2	239	11,2	11,3	< 0,01	0,02	0,14
733	5	236	11,4	11,3	ns	-	-
734	10	231	11,4	11,3	ns	-	-
735	15	226	11,4	11,3	ns	-	-
736	24	217	11,3	11,3	ns	-	-
737	35	206	11,4	11,3	ns	-	-
738	44	197	11,4	11,3	ns	-	-
739	49	192	11,4	11,3	ns	-	-
740	56	185	11,3	11,3	ns	-	-
741	69	172	11,3	11,3	ns	-	-
742	82	159	11,3	11,3	ns	-	-

Продолжение таблицы 7

743	93	148	11,3	11,3	ns	-	-
744	105	136	11,1	11,3	ns	-	-
745	117	124	11,3	11,3	ns	-	-
746	136	105	11,2	11,3	ns	-	-
747	155	86	11,2	11,4	ns	-	-
748	175	66	11,3	11,4	ns	-	-
749	196	45	11,3	11,3	ns	-	-
750	212	29	11,3	11,5	ns	-	-
751	227	14	11,3	11,4	ns	-	-
752	233	8	11,3	11,2	ns	-	-

Исходя из данных табл. 7 можно сделать заключение, что атмосферное давление влияет на показания датчика показаний уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве в сторону увеличения. Вывод справедлив для порогового значения давления 732 мм.рт.ст. При этом минимальное статистически значимое различие двух частей одной выборки составило 0,2%.

Следующий этап анализа включал в себя применение ROC-анализа с предварительной модификацией показаний датчика показаний уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве относительно медианы: меньше или равно медиане (считалось как отсутствие события) и больше медианы (событие). Полученная ROC-кривая представлена на рис. 15.

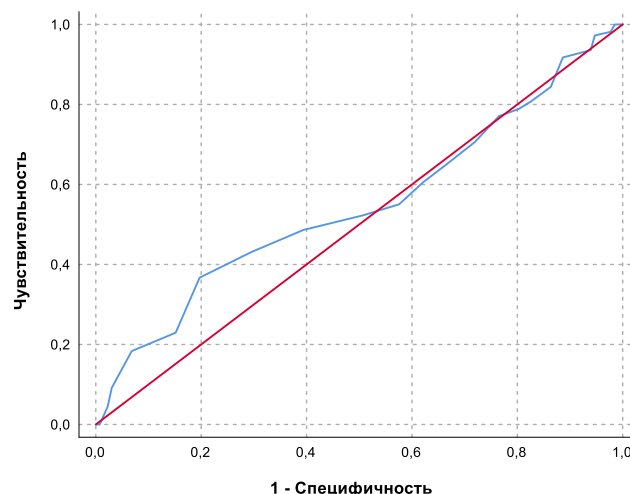


Рис. 15. ROC-кривая с опорной линией для датчика показаний уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве. Оценивалось влияние на завышение показаний датчика

Площадь по кривой составила $0,547 \div 0,38$ при доверительном интервале $0,473 \div 0,622$, что указывает на отсутствие эффекта.

Ввиду того, что факт влияния атмосферного давления на показания датчика показания уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве установлен не был, последний этап (ковариационного анализ) не проводился.

Таким образом, было показано отсутствие статистически значимой взаимосвязи между атмосферным давлением и показанием датчика уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве.

Зависимость показаний датчика СКПА концентрации метана в отработанном и изолированном пространстве от атмосферного давления представлена на рис. 16. Корреляция этих показателей была статистически значимой ($P < 0,05$), однако значение коэффициента корреляции было низким и составило $-0,43$ (при доверительном интервале: $-0,32 \div -0,53$).

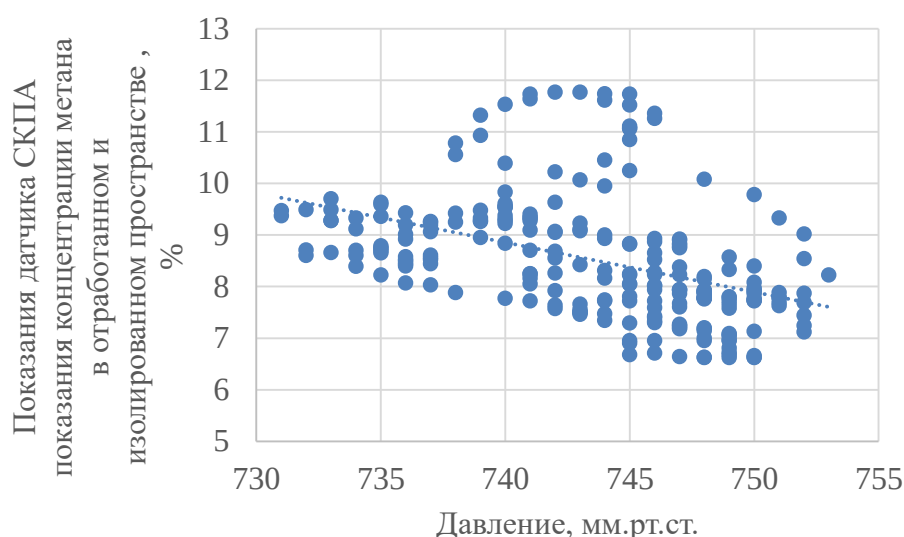


Рис. 16. Корреляция показаний датчика СКПА концентрации метана в отработанном и изолированном пространстве и атмосферного давления

На следующем этапе совокупность значений была разделена на две части: ниже и выше порогового значения атмосферного давления. Данные по применению критерия Стьюдента при каждой возможной величине порогового значения давления представлены в табл. 8.

Таблица 8

Сравнение двух частей выборки показаний датчика СКПА концентрации метана в отработанном и изолированном пространстве при различном уровне порогового значения атмосферного давления

Давление	n1	n2	Сред. 1	Сред. 2	P	Дов.инт. различия	
						min	max
732	2	239	9,42	8,51	< 0,01	-0,71	-1,11
733	5	236	9,13	8,50	< 0,05	-0,10	-1,15
734	10	231	9,21	8,49	< 0,01	-0,44	-1,03
735	15	226	9,08	8,48	< 0,01	-0,32	-0,88
736	24	217	9,03	8,46	< 0,01	-0,32	-0,81
737	35	206	8,92	8,45	< 0,01	-0,24	-0,70
738	44	197	8,89	8,44	< 0,01	-0,23	-0,68
739	49	192	8,96	8,41	< 0,01	-0,31	-0,80
740	56	185	9,06	8,35	< 0,01	-0,45	-0,97
741	69	172	9,15	8,26	< 0,01	-0,63	-1,14
742	82	159	9,15	8,19	< 0,01	-0,70	-1,22
743	93	148	9,12	8,14	< 0,01	-0,72	-1,25
744	105	136	9,06	8,10	< 0,01	-0,69	-1,24
745	117	124	9,06	8,01	< 0,01	-0,78	-1,32
746	136	105	9,05	7,83	< 0,01	-0,97	-1,48
747	155	86	8,95	7,74	< 0,01	-0,98	-1,46
748	175	66	8,84	7,67	< 0,01	-0,93	-1,42
749	196	45	8,71	7,66	< 0,01	-0,79	-1,33
750	212	29	8,61	7,83	< 0,01	-0,46	-1,09
751	227	14	8,55	7,95	< 0,01	-0,22	-1,00
752	233	8	8,54	7,89	< 0,05	-0,08	-1,21

Исходя из данных табл. 8 можно сделать заключение, что атмосферное давление влияет на показания датчика СКПА концентрации метана в отработанном и изолированном пространстве в сторону их занижения. Вывод справедлив для порогового значения давления в диапазоне от 741 до 723 и от 745 до 749 мм.рт.ст. При этом минимальное статистически значимое различие двух частей одной выборки (при пороговом значении давления 747 мм.рт.ст. составило 11%.

Следующий этап анализа включал в себя применение ROC-анализа с предварительной модификацией показаний датчика относительно медианы: меньше или равно медиане (считалось как событие) и больше медианы (отсутствие события). Полученная ROC-кривая представлена на рис. 17.

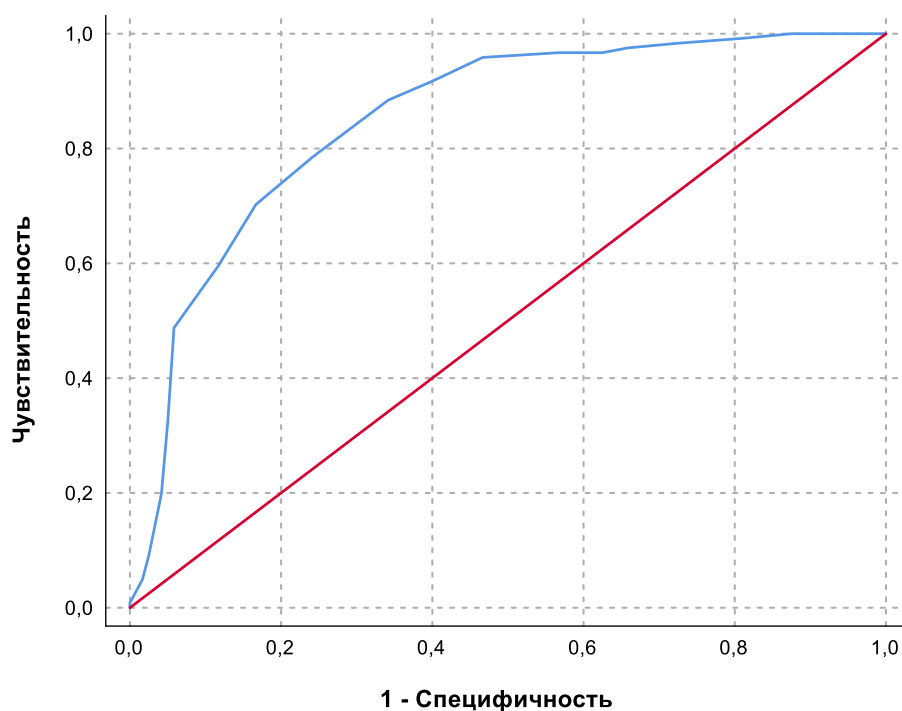


Рис. 17. ROC-кривая с опорной линией для датчика СКПА концентрации метана в отработанном и изолированном пространстве. Оценивалось влияние на понижение показаний датчика

Площадь по кривой составила $0,851 \pm 0,25$ при доверительном интервале $0,803 \div 0,900$, что указывает на значимый эффект. Индекс Юдена составил 0,543 при пороговых значениях: 742,5, 743,5 и 744,5 мм.рт.ст. Чувствительность и специфичность соответственно составили 88,4/65,8, 83,5/70,8 и 78,5/75,8%.

На последнем этапе в рамках ковариационного анализа оценивался вклад конкретного дня наблюдения совместно с фактором атмосферного давления. Было показано, что атмосферное давление наряду с фактором дня снятия показаний являются значимыми факторами.

Таким образом, была показана статистически значимая, но слабо выраженная обратная корреляция между атмосферным давлением и показанием датчика СКПА концентрации метана в отработанном и изолированном пространстве. Пороговое значение атмосферного давления, при котором различия показаний датчик различаются по данным критерия Стьюдента (до порога – значения датчика выше, после – ниже) находится в диапазоне от 732 до 752 при максимальном различии двух выборок – 11% при 747 мм.рт.ст. По данным ROC-анализа пороговый уровень составил 742,5-744,5 мм.рт.ст.

Индекс Юдена составил 0,543, что считается высоким значением этого показателя. В рамках ковариационного анализа было показано, что атмосферное давление наряду с фактором дня снятия показаний являются значимыми факторами, влияющими на показания датчика СКПА концентрации метана в отработанном и изолированном пространстве.

Зависимость показаний датчика абсолютного давления в изолированном и отработанном пространстве от атмосферного давления представлена на рис. 18. Корреляция этих показателей была статистически значимой ($P < 0,01$). Коэффициент корреляции составил 0,98 (при доверительном интервале: $0,98 \div 0,99$).

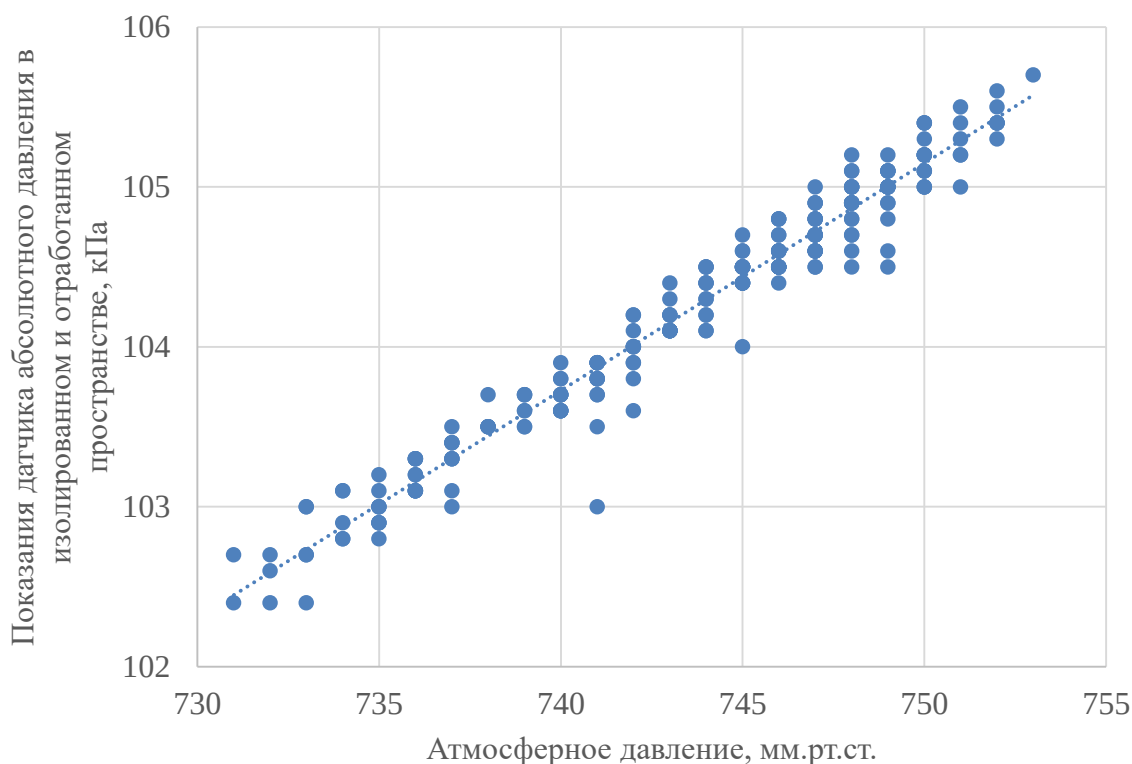


Рис. 18. Корреляция показаний датчика абсолютного давления в изолированном и отработанном пространстве и атмосферного давления

Таким образом, была показана статистически значимая корреляция (0,98) между атмосферным давлением и показанием датчика абсолютного давления в изолированном и отработанном пространстве.

Зависимость показаний датчика показания уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве от атмосферного давления представлены на рис. 19. Корреляция этих показателей была статистически значимой ($P < 0,01$), однако значение коэффициента корреляции было низким и составило 0,22 (при доверительном интервале: $0,10 \div 0,34$).

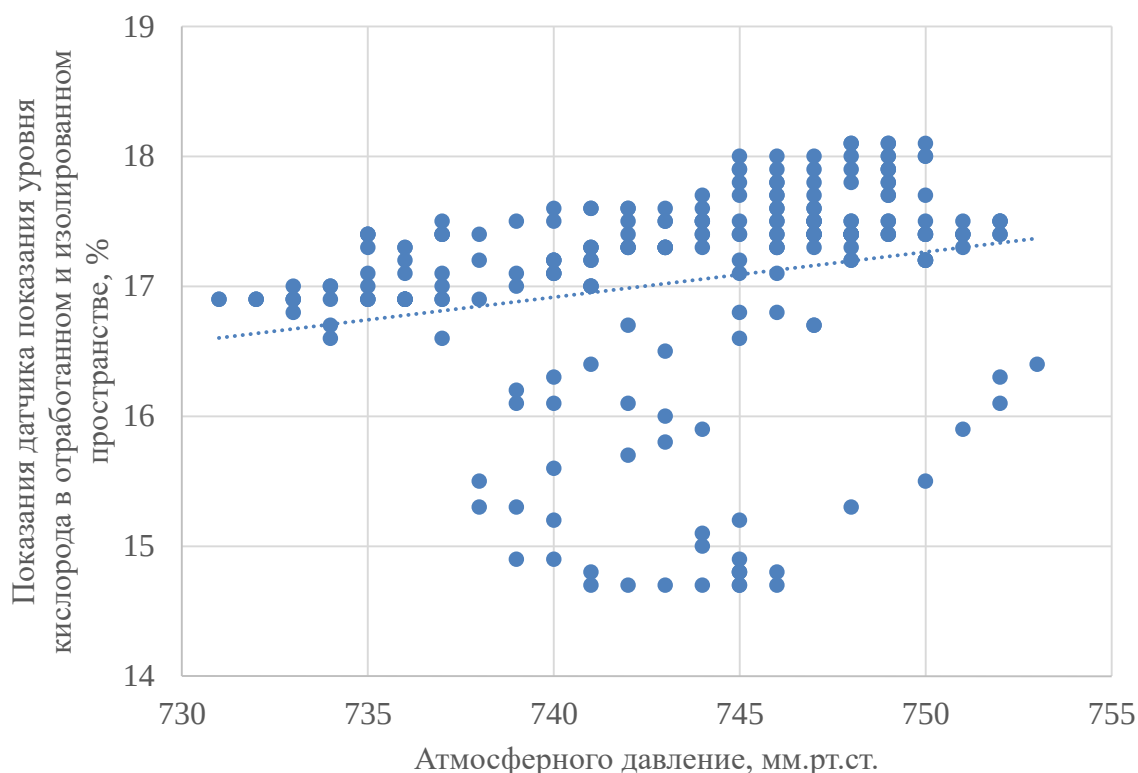


Рис. 19. Корреляция показаний датчика показания уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве и атмосферного давления

На следующем этапе совокупность значений была разделена на две части: ниже и выше порогового значения атмосферного давления. Данные по применению критерия Стьюдента при каждой возможной величине порогового значения давления представлены в табл.9.

Таблица 9

Сравнение двух частей показаний датчика показания уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве при различном уровне порогового значения атмосферного давления

Давление	n1	n2	Сред. 1	Сред. 2	P	Дов.инт. различия	
						min	max
732	2	239	16,9	17,0	< 0,05	0,04	0,3
733	5	236	16,9	17,0	< 0,05	0,04	0,3
734	10	231	16,9	17,1	< 0,01	0,03	0,3
735	15	226	16,9	17,1	< 0,05	0,1	0,3
736	24	217	17,0	17,1	ns	-	-
737	35	206	17,0	17,1	ns	-	-
738	44	197	17,0	17,1	ns	-	-
739	49	192	17,0	17,1	ns	-	-
740	56	185	16,9	17,1	< 0,05	0,02	0,4
741	69	172	16,8	17,1	< 0,01	0,1	0,5
742	82	159	16,8	17,2	< 0,01	0,1	0,5
743	93	148	16,8	17,2	< 0,01	0,1	0,6
744	105	136	16,8	17,2	< 0,01	0,1	0,6
745	117	124	16,8	17,2	< 0,01	0,2	0,6
746	136	105	16,8	17,3	< 0,01	0,2	0,6
747	155	86	16,8	17,4	< 0,01	0,4	0,8
748	175	66	16,8	17,4	< 0,01	0,4	0,8
749	196	45	16,9	17,4	< 0,01	0,3	0,6
750	212	29	17,0	17,4	< 0,01	0,3	0,5
751	227	14	17,0	17,2	ns	-	-
752	233	8	17,0	17,1	ns	-	-

Исходя из данных табл. 9 можно сделать заключение, что атмосферное давление влияет на показания датчика показания уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве в сторону их завышения. Вывод справедлив для порогового значения давления в диапазоне от 732 до 735 и от 740 до 750 мм.рт.ст. При этом минимальное статистически значимое различие двух частей одной выборки (при пороговом значении давления 747-748 мм.рт.ст.) составило 2%.

Следующий этап анализ включал в себя применение ROC-анализ с предварительной модификацией показаний датчика уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве относительно медианы: меньше

или равно медиане (считалось как отсутствие события) и больше медианы (событие). Полученная ROC-кривая представлена на рис. 20.

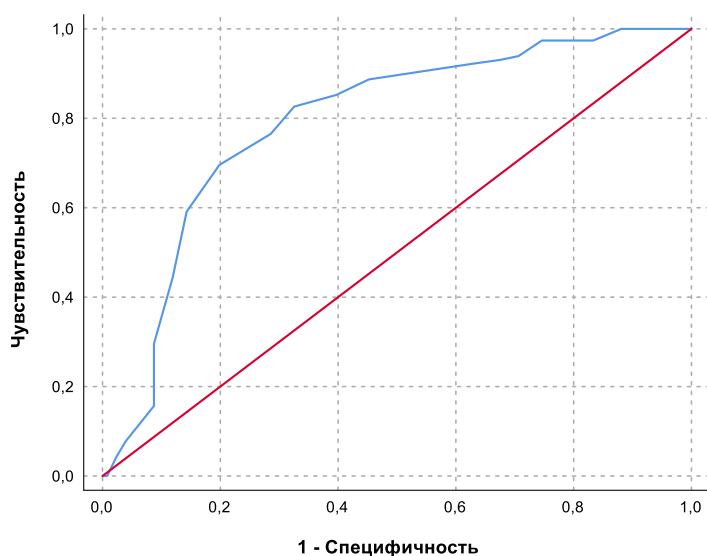


Рис. 20. ROC-кривая с опорной линией для датчика показания уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве. Оценивалось влияние на повышение показателя

Площадь по кривой составила $0,791 \pm 0,30$ при доверительном интервале $0,732 \div 0,850$, что указывает на значимый эффект. Индекс Юдена составил 0,501 (чувствительность – 82,6%, специфичность – 67,5%) при пороговом значении 743,5 мм.рт.ст.

Таким образом, была показана статистически значимая, но слабо выраженная обратная корреляция (0,22) между атмосферным давлением и показанием датчика уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве. Пороговое значение атмосферного давления, при котором различия показаний датчика уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве различаются по данным критерия Стьюдента (до порога – значения датчика выше, после – ниже) находится в диапазоне от 732 до 735 и от 740 до 745 при максимальном различии двух выборок – 2% при 747-748 мм.рт.ст. По данным ROC-анализа пороговый уровень составил 743,5 мм.рт.ст. Индекс Юдена составил 0,501, что считается высоким значением этого показателя. В рамках ковариационного анализа было показано, что атмосферное давление наряду с фактором дня снятия показаний являются значимыми факторами, влияющими на показания датчика уровня кислорода в отработанном и изолированном пространстве.

Выводы:

Данные исследования проводились в условиях АО «Распадская-Коксовая» при отработке пласта III. Анализ показал, что атмосферное давление влияет на метановыделение наряду с другими горно-геологическими и горнотехническими факторами.

Исследования показали, что датчики расположенные по ходу движения исходящей струи из добычного забоя по данным РОС-анализа имеют пороговый уровень 744,5 мм.рт.ст. т.е. при уменьшении атмосферного давления ниже 744,5 мм.рт.ст. возрастает метанообильность, при повышении атмосферного давления выше 744,5 мм.рт.ст метановыделение уменьшается. Соответствующая тенденция прослеживается и на исходящей крыла шахты. По данным станций контроля параметров атмосферы, установленные в верхней и нижней части ранее отработанного добычного забоя, также прослеживается взаимосвязь между атмосферным давлением и показателями среды в изолированном пространстве по таким параметрам как абсолютное давление, концентрация метана, концентрация кислорода.

Для минимизации рисков загазирования горных выработок применяются следующие мероприятия:

- увеличение производительности вентилятора главного проветривания;
- увеличение производительности дегазационной и газоотсасывающей установок;
- увеличение сопротивления в горных выработках для создания дополнительного давления на выработанное пространство путем управления вентиляционными регуляторами расположенных по сети горных выработок.

Список литературы

1. А.Ю. Ермаков, Н.М. Качурин. Метановыделение при выемке мощных пологих угольных пластов\\Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. №6. С.193-206.
2. Бакланов А. А. Численное моделирование в рудничной аэрологии. Апатиты: КФАН СССР, 1988. 200 с.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика/ В.Е.Гмурман.М.:Высшая школа, 2000.-479с.
4. Шилова З. В. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие / З. В. Шилова, О. И. Шилов. – Киров: Изд-во ВГГУ, 2015. – 158 с.