

geological and geophysical model are offered. The basic features of geological structure and localization of gold are considered. The gold-quartz type of mineralization and similarity with Soviet gold-ore node is motivated.

УДК 553.94:550.8 (925.13-13)

О СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЯХ КЕРНОВОГО ОПРОБОВАНИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Швец В.Н.

В статье представляется система поправок, компенсирующих погрешности кернового опробования угольных пластов, которые возникают вследствие избирательного истирания низкозольных, хрупких литотипов углей. В обоснование системы излагаются результаты физическо-го и математического моделирования процесса избирательного истирания керна, результаты прямых сопоставлений кернового опробования с бороздовым опробованием горных выработок и технологическим опробованием добывающего предприятия. На примерах демонстрируется повышение представительности кернового опробования при системном вводе поправок.

Керновое опробование угольных пластов является важным и, зачастую, незаменимым элементом углеразведки в Южно-Якутском угольном бассейне (ЮЯУБ). Геофизическими, в том числе, ядерно-физическими методами опробования (ЯФО) скважин в настоящее время уверенно определяются только мощность и строение угольных пластов. Успехи геофизического определения углехимических параметров невелики. В настоящее время для бассейна известны всего один, в известной мере, вынужденный опыт прямого использования определений зольности (и только зольности!) каротажными методами с целью подсчета запасов угля по пласту N_{15} Эльгинского месторождения.

Очевидно, что необходимый при поисках и разведке углей спектр углехимических и геохимических характеристик и сейчас и в обозримом будущем может быть определен только путем опробования и лабораторного анализа вещества.

Доля кернового опробования среди прочих его видов в ЮЯУБ постоянно растет. В последние годы в бассейне прекращена проходка разведочных штолен и наклонных шахт, а проходка канав, на выходах угольных пластов, заменена разработанной автором скважинной технологией вскрытия и определения параметров углей, базирующейся как на ЯФО, так и на керновом опробовании.

И на стадии разработки названной технологии и в процессе ее использования, нами уделялось серьезное внимание вопросам обеспечения кондиционности кернового опробования. Как в плане решения технических вопросов бурения, так и в плане сравнительных методических оценок достоверности опробования керном и бороздой.

Когда говорят о кондиционности кернового опробования углей в ЮЯУБ, то практически всегда имеют в виду кондиционность определения, прежде всего, зольности, параметра наиболее изменчивого. Применительно к другим углехимическим оценкам, в частности, к таким классификационным для бассейна показателям как выход летучих (V_{daf}) и толщина пластического слоя (Y_{mm}), которые определяются по концентратам, качество кернового опробования не столь критично.

Несмотря на массовое использование керна для определения углехими-

ческих показателей и достаточно успешное применение двойных колонковых труб различной конструкции, методическими вопросами представительности керна в бассейне занимались мало. Наиболее корректным предшествующим исследованием этого плана является рукописная работа Пухарева А.И. начала семидесятых годов, рассматривавшая проблему применительно к дурайским углям Чульмаканского месторождения. А.И. Пухаревым статистически достоверно установлено широкое развитие процессов избирательного истирания керна и предпринята попытка ввода поправок в значения зольности на базе уравнений регрессии (кern, пробоотборник – борозда). К сожалению упомянутый опыт не получил производственного развития.

Поэтому как в семидесятые годы, так и ныне, обрабатывая данные кернового опробования в ЮЯУБ, геологи ГТГП «Южякутгеология», осуществляют выбраковку некондиционных проб, мотивируя ее зашламованностью, засорением и другими причинами. Например, на Кабактинском участке выбраковано около 20% керновых проб средней зольностью 47% и введены замещающие значения зольности на уровне 26%, что приближает оценку зольности пластов угля по керну к штольным и канавным оценкам, но не формализованным и субъективным путем. Такое замещение, базирующееся на аналогиях с соседними пачками углей в пластосечении, соседними скважинами, канавами или штольями, искажает реальное распределение зольности в выборках и маскирует истинные размеры процессов избирательного истирания керна. Более корректно замещение зольности керновых проб зольностью углей, определенной по бойковому опробованию. Но бойковое опробование выполняется избирательно, обычно только при директивно некондиционном выходе керна (<70–60%).

Учитывая все вышеизложенное, замена бороздового опробования канав керновым и ядерно-физическим, в рамках технологии вскрытия выходов угольных пластов скважинами, требовала методического обоснования. Понятно что, заменялась не столько безукоризненная, сколько реальная практика проблемного бороздового опробования в канавах, часто заливаемых водой, оплывающих, недобитых. Но заменялся теоретически более надежный вид непосредственного опробования недр на менее надежный способ дистанционного опосредованного опробования. Поэтому нами изначально делалась ставка на получение максимального выхода керна. Попутно проводилась методическая проработка вопросов кондиционности кернового опробования в угольном бассейне, одно из направлений которой кратко представлено ниже.

Надо заметить, что почти на всех отработанных нами участках получен высокий для ЮЯУБ выход керна, в 85–100%. За исключением поисковых участков Перспективного (60%) и Восточная площадь (79%), а также детально разведанного участка Олонгро (75%). Достигнутый уровень кондиционности кернового опробования выходов углей, безусловно, выше такового для традиционного колонкового бурения.

Так, при добычных работах по пласту Д₇ участка Угольный средняя зольность угля в забоях и конусах составляет 14,2–15,1%. Бороздовым опробованием канав ранее была получена средняя зольность 11,4 и 14,5% соответственно для пластов Д₇ нижнего и Д₇ верхнего. Керновым опробованием стандартных скважин – 15,1–21,9%. Керновым опробованием скважин, вскрывших выходы пластов – 14,8–19,3%.

Но, налицо систематические погрешности в определениях зольности по

керну. Даже при линейном выходе керна в 91% для скважин на выходах угольных пластов.

Прямое доказательство величины и направления избирательного истирания керна, при его среднем выходе в 88%, получено нами в 1988 в штольне №3 Верхне-Кабактинского участка Кабактинского месторождения. Опробование стенок этой штольны, в зоне подсеченных скважин с номерами 2, 3 и 5, заключалось в отборе сопряженных бороздовых дифференциальных проб непосредственно справа, слева и вглубь следа вскрытой скважины. В зоне влияния каждой скважины отбирались по шесть бороздовых проб пластосечения. Каждая бороздовая проба пластосечения состояла из 6–15 дифференциальных бороздовых проб. Сечения бороздовых проб: $4 \times 2 \text{ см}^2$ – 3 пробы; $10 \times 5 \text{ см}^2$ – 3 пробы. Интервалы дифференциального опробования разбивались по трем вариантам, причем каждый вариант включал борозды $4 \times 2 \text{ см}^2$ и $10 \times 5 \text{ см}^2$.

Средние зольности пластосечений по керну, узкой борозде и широкой борозде равны соответственно 30,5, 28,9 и 26,0 абс.%. При случайной среднеквадратической погрешности определения зольности пластосечений бороздовым опробованием равной в конкретных условиях 2,1–3,2 абс.%, систематическое расхождение в определениях зольности по керну и бороздой значимо, как по критерию Стьюдента, так и по критерию ничтожной погрешности.

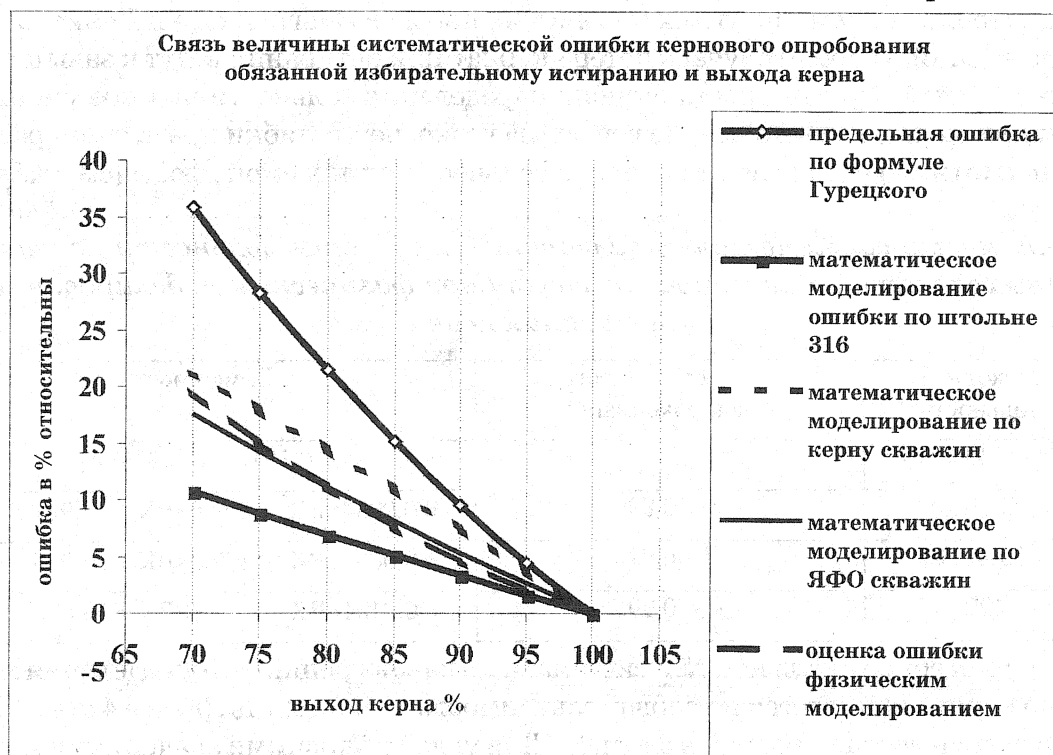


Рис.1. Связь величины систематической ошибки, связанной избирательному истиранию керна и выхода керна

В 1989 году нами выполнены расчеты предельных (максимально возможных) ошибок кернового опробования, связанных с избирательным истиранием хрупких углей по аналогии с известной формулой В.М. Гурецкого (ВНИИЯГ):

$$\text{Lim}\sigma(\text{отн.}\%) = \frac{A_d^k - A_d^u}{A_d^u} \times 100\% = 100 \times \left(\frac{100}{BK} - 1 \right) \times \left[1 - \frac{A_d^{k,yc}}{A_d^{k,n}} \times \left(1 - \frac{d_{yc}}{d_n} \right) \right],$$

где A_d^k – зольность керна с неполным выходом (ВК),
 A_d^u – зольность пластосечения истинная,
 $A_d^{k, уг}$ – зольность керна угля,
 $A_d^{k, n}$ – зольность керна породных прослоев,
 $ВК$ – выход керна, %,
 $d_{уг}$ и d_n – объемная плотность угля и породных прослоев.

Для угольных пластов К₄-К₁₄ Денисовского месторождения и выхода керна в 100–70% уравнения связи предельной ошибки и выхода керна следующие (см. рис. 1):

Линейное $\text{Lim } \sigma \text{ (отн. \%)} = -1.19 \times ВК + 117,9$

Полном $\text{Lim } \sigma \text{ (отн. \%)} = 0,0125 \times ВК^2 - 3,315 \times ВК + 206,65$

Экспериментально определенная систематическая погрешность кернового опробования по штольне № 3, при выходе керна скважин в 88%, равна $[30,5 - (26 + 28,9)/2] / [(26 + 28,9)/2] \times 100\% = 10,9\%$.

Расчетная (по вышеприведенным зависимостям) предельная ошибка для выхода керна в 88% равна 12 отн. %.

Физическое моделирование процессов истирания керна колонковой трубой по известной схеме последовательного изъятия измельченного вещества в частичные пробы, выполнено нами на углях и углистых породах Эльгинского и Денисовского месторождений. И в этом случае «потери керна» при истирании ведут к завышению зольности углей. Но темп роста ошибки определения зольности по мере уменьшения выхода керна здесь примерно в два раза ниже, чем ошибки предельной расчетной $\text{Lim } \sigma \text{ (отн. \%)}$ и зависит от исходной зольности истираемой пробы (см. табл. 1).

Таблица 1

Зависимости систематической ошибки определения зольности по керну от выхода керна и исходной зольности при физическом моделировании истирания керна

Исходная зольность	Достоверность аппроксимации	Зависимости
5–49%	-	$= 32,945 - 0,391 \times ВК + 0,236 \times A_d$
5–7%	0,89	$= 0,0034 \times ВК^2 - 0,696 \times ВК + 35,981$
20–23%	0,97	$= 0,0057 \times ВК^2 - 1,205 \times ВК + 65,938$
49%	0,99	$= 0,0101 \times ВК^2 - 2,357 \times ВК + 134,95$

На примере со штольной № 3 систематическая погрешность определения зольности по керну оценивается по первой зависимости таблицы 1 цифрой в 4 отн. %. По третьей зависимости – цифрой в 5 отн. %. Для углей с близкими значениями исходных зольностей зависимости, как правило, близки к функциональным.

Анализ показывает, что на интенсивность процесса избирательного истирания керна влияют: физико-механические свойства углей и вмещающих пород; петрографический состав угля в каждой пачке пластосечения; степень метаморфизма углей и степень их окисленности; структура и текстура углей; строение пластосечения по всей его мощности; литология породных прослоев; элементы залегания пласта угля; технология прорезки пласта при бурении. Учет прямыми поправками влияния всех перечисленных факторов невозможен. Поэтому исправление зольности пластосечений за избирательное истира-

ние керна, с использованием данных только о выходе керна и распределении зольности по разрезу пластов рекомендуется как вынужденная мера. Применяя обозначенный подход мы предполагаем, что в пластосечении всегда первыми истираются наиболее хрупкие низкзолные, богатые витреном слойки, затем по этой же схеме далее истираются все более и более зольные разности. Принятая схема позволяет легко моделировать процесс избирательного истирания керна по данным, бороздового, высококондиционного кернового и ядерно-физического опробования путем последовательного изъятия низкзолных дифференциальных проб либо интервалов ЯФО. Соответствующий расчет зольностей пластосечения и относительных систематических ошибок изъятия проб (уменьшения выхода керна) выполняется по формуле:

$$\sigma (\text{отн}\%) = \frac{\sum_{i=1}^n A_d^i \times m_i \times \gamma_i - \sum_{i=2}^n A_d^i \times m_i \times \gamma_i}{\sum_{i=1}^n A_d^i \times m_i \times \gamma_i} \times 100\% ,$$

где m_i – мощность i -го интервала (пробы),
 γ_i – плотность угля интервала (пробы), определяемая по зависимости $\gamma_i = (A_d^i)$.

Математическое моделирование по результатам специального опробования пласта K_8 в штольне 316 Локучакинского участка на базе дифференциальных $(20 \times 5 \times \{5+10\} \text{ см}^3)$ бороздовых проб, собранных в 40 сечений, показывает (см. табл. 2), что усложнение характера зависимости принципиально не повышает точности прогноза систематической ошибки определения зольности из-за неполного выхода керна. Точность такого прогноза в форме среднеквадратической ошибки и единицах σ (отн. %) колеблется в пределах 1,8–2,1. Зависимости, полученные математическим моделированием схожи с таковыми для условий физического моделирования. Так, систематическая ошибка определения зольности по керну, на тестовом примере со штольней № 3 для выхода керна по пласту K_4 в 88%, оценивается по зависимостям 1 и 2 таблицы 2 цифрами в 3,4–4,0 отн. %. Аналогичные зависимости, рассчитанным по данным бороздового и кернового опробования в штольне 3 самого пласта K_4 , дают тестовые ошибки в 7,3 и 5,2 отн. %.

Таблица 2
Зависимости систематической ошибки определения зольности по керну от выхода керна и исходной зольности при математическом моделировании истирания керна на базе опробования в штольне 316

Исходная зольность	Точность прогноза, % достоверность аппроксимации	Зависимости
24–38%	1,8	$= 24,267 - 0,383 \times BK + 0,468 \times A_d$
24–38%	2,1/0,83	$= 0,0013 \times BK^2 - 0,5805 \times BK + 45,041$
24–38%	2,0	$= 31,13 - 1,23 \times A_d + 0,099 \times BK + 0,057 \times A_d^2 - 0,023 \times A_d \times BK + 0,001 \times BK^2$

Нами выполнено математическое моделирование систематической ошибки, как функции выхода керна, на различных пластах бассейна. Полученные

зависимости, в том числе и по ЯФО, схожи. Достоверность аппроксимации не хуже 0,85 (см. табл. 3).

Таблица 3

Зависимости систематической ошибки определения зольности по керну от выхода керна при математическом моделировании истирания керна на базе кернавого и ядерно-физического опробования для пластов кабактинской и дурайской свит

Условия расчета и интервал выхода керна, %	Тест шт. № 3	Достоверность аппроксимации	Зависимости
Керновое опробование, 100–50	8,8	0,85	$= -0,0012 \times BK^2 - 0,5035 \times BK + 62,411$
ЯФО для точек выхода керна, 100–50	7,5	0,87	$= 0,0013 \times BK^2 - 0,8749 \times BK + 74,42$
ЯФО, 100–70	6,3	0,85	$= 0,0036 \times BK^2 - 1,191 \times BK + 83,277$

Отметим схожесть результатов моделирования ошибок на базе кернавого и ядерно-физического опробования одних и тех же пластосечений. Связь рассчитанных ошибок тесная, с коэффициентами корреляции 0,9–0,99. Уравнения связи имеют вид:

$$\sigma_{\text{ЯФО}} (\text{отн. \%}) = 0,99 \times \sigma_{\text{КО}} (\text{отн. \%}) - 0,05,$$

при выходе керна 100–70%.

В интервале выхода керна 70–100% систематические ошибки, моделированные по керну и ЯФО скважин, расходятся на 0–4% относительных (см. рис. 1). При этом степень совпадения ошибок, обязанных избирательному истиранию керна, мало зависит от того, насколько хорошо сопоставляются собственно сами зольности пластосечения, определенные по кернавому и ядерно-физическому опробованию. Последнее обстоятельство позволяет использовать простейшие варианты ядерно-физического опробования для корректировки кернавого опробования при избирательном истирании низкозольных компонентов углей по индивидуальной для пластосечения связи $\sigma (\text{отн. \%}) = f(BK)$.

Упрощенно схема увязки систематических ошибок и выхода керна представлена на рисунке 1. Нижней границей поля графиков является полином, полученный математическим моделированием на базе бороздовых проб по пласту К₈ штольни 316. Верхней границей – кривая предельных значений $\lim \sigma (\text{отн. \%})$ для Денисовского месторождения. Все иные зависимости располагаются в указанных границах. Обращает на себя внимание практически полное совпадение полиномов полученных по физическому моделированию и математическому моделированию на базе ЯФО. Для предварительных оценок систематических ошибок кернавого опробования, обязанных избирательному истиранию керна, в условиях минимума исходной информации, можно пользоваться зависимостью, полученной физическим моделированием. Ввод поправок в среднепластовые значения зольности, определенные по керну, выполняется по формуле:

$$A_d'' = \frac{100 \times A_d^k}{100 + \sigma}.$$

Для условий ЮЯУБ статистически обоснован ввод поправок при выходе керна меньшем 90–85%. Достоверность поправок зольности напрямую связана с надежностью документации, техническим качеством опробования и определения выхода керна по поправляемому пластосечению или пачке углей. Желательно использовать индивидуальную для пласта или пластосечения зависимость ошибки от выхода керна. Такой подход осуществляется просто при использовании данных ЯФО.

Например, в базовой выборке из 82 пластосечений пластов K_4-K_{14} Денисовского месторождения имеется 13 пластосечений с относительно низким выходом керна (85–70%). Средняя квадратическая ошибка сопоставления зольностей, определенных по керну и ЯФО, на этих 13 пластосечениях равна 5,17% абсолютных. Ввод поправок в значения зольности по керновому опробованию, с помощью зависимости, построенной по физическому моделированию, снижает среднюю квадратическую ошибку до 4,38%. Ввод поправок, при использовании частной зависимости по пластам K_4-K_{14} , снижает среднюю квадратическую ошибку сопоставления кернового и ядерно-физического опробования до 3,84%. Соответственно, систематическое расхождение «кern–ЯФО» вводом поправок нивелируется до незначимого.

Очевидно, что процессы избирательного истирания керна, влияют на случайную ошибку кернового опробования зольности не в меньшей мере, нежели природная изменчивость. Этот тезис можно дополнительно иллюстрировать обработкой всех известных в бассейне данных заверки кернового опробования скважин бороздовым опробованием штолен (наклонных шахт). Расчет для 37 сопоставлений, фиксирует значимую систематическую погрешность определения зольности по керну в 1,63% абсолютных, при среднеквадратической погрешности «кern–борозда» равной 4,12% абсолютных. Ввод поправок за избирательное истирание керна, в рамках описанной системы, для условий минимума исходной информации, сокращает систематическую погрешность определения зольности по керну до незначимых статистически, 0,43% абсолютных. А среднеквадратическую погрешность «кern–борозда», осложненную природной изменчивостью, – до 3,93% абсолютных. Если использовать выборку только тех 12 скважин, которые были непосредственно и надежно подсечены штольнями, то с исправлением зольности кернового опробования наблюдается снижение систематической погрешности с 2,26 до 0,42% абсолютных и снижение среднеквадратической погрешности кернового опробования с 3,86 до 3,09 абс.%.

Представленная система ввода поправок может быть использована также и для корректировки содержаний макро- и микроэлементов при геохимических исследованиях и технологическом изучении малых и токсичных элементов в углях. Исключение составляют элементы, имеющие высокое сродство к углероду, которые обычно плохо коррелируют с зольностью. Например, для условий выходов угольного пласта K_{12} Сыллахского месторождения зависимости ошибки определения содержаний микроэлементов от выхода керна в целом идентичны зависимостям установленным для зольности. Но достоверность аппроксимации таких зависимостей полиномом уменьшается по мере роста органophilности элементов. Например, достоверность аппроксимации зависимости (R^2) для германия равна 0,52, для бериллия – 0,68, а для скандия – 0,7. Система не работает из-за низкой достоверности аппроксимации зависи-

мостей ошибок определения содержаний от выхода керна для таких углехимических показателей как влага аналитическая и выход летучих ($R_2 - 0,09$ и $0,1$ соответственно).

Анализ систематических и случайных погрешностей присущих керновому опробованию, даже относительно высококондиционному, показывает, что параметры качества кернового опробования, практически всегда, уступают таковым для опробования бороздового. Предлагаемая система поправок за избирательное истирание керна несколько улучшает качество кернового опробования. Однако абсолютизировать подобный подход не следует, поскольку он является вынужденной реакцией на техническое несовершенство кернового опробования.

В заключение заметим, что при расчетах расхождений-погрешностей мы руководствовались требованиями руководящих документов [2, 3] и исходили из нормального закона распределения содержаний, поскольку дискуссия по правильности использования статистических оценок положения и рассеяния не входит в задачи этой статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям углей и горючих сланцев. М.: ГКЗ СССР, 1983. 46 с.
2. РД 41-06-125-90. Оценка достоверности данных ядерно-геофизических методов опробования, получаемых при разведке месторождений твердых полезных ископаемых. М.: Рудгеофизика, 1990. 48 с.
3. Требования к геофизическому опробованию при подсчете запасов месторождений металлов и нерудного сырья М.: ГКЗ СССР, 1989. 27 с.

ABOUT SYSTEMATIC ERRORS OF CORE SAMPLING OF COAL SERIES IN SOUTHERN YAKUTIA

V.N. Shvetz

The paper presents a system of corrections compensating errors of core sampling of coal series appeared as a result of selective abrasion of brittle coals with low ash contents. The system is based upon the results of physical and mathematical modelling of the process of the selective core abrasion, results of direct comparison of core sampling with trenching of mines and technological sampling at mining enterprises. Presented examples demonstrate increase of representation of core sampling while systematic input of corrections.