

УДК 622.2.002

Д.Р. Каплунов, В.А. Юков

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДОПУСТИМОЙ
ВЕЛИЧИНЫ КОЛЕБАНИЙ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
РАБОТЫ РУДНИКА ***

При ограниченных данных на предпроектной стадии рассмотрено влияние изменений производительности рудника, содержания металла в руде и его цены на результаты работы предприятия. Определены величины допустимых колебаний этих показателей.

Ключевые слова: производительность рудника, содержания металла в руде, цена металла.

Известна важность выбора производственной мощности предприятия, осваивающего недра. Существующие методы предполагают обоснование этой величины, во-первых, исходя из горно-геологических условий, так называемой мощности по горным возможностям, практически максимально технически достижимой. С другой стороны, в диапазоне горных возможностей устанавливается оптимальная производственная мощность, исходя из обеспечения максимальной прибыли или минимальных издержек производства. Вместе с тем практически существует некоторый диапазон рациональных значений. Этот диапазон даёт возможность варьировать производительностью предприятия в зависимости от конъюнктуры рынка. Однако остаются неясным целесообразные величины отклонений мощности, не влекущие за собой ухудшение результатов.

Основными показателями работы рудника служат производительность

по руде и содержание в ней полезного компонента. В современных условиях в связи с изменением конъюнктуры рынка предприятию приходится менять установившуюся производительность, как в сторону увеличения, так и снижения. Представляется, что ещё на предпроектной стадии возможно оценить влияние таких колебания на результаты деятельности, когда детальная проектная проработка не проводится и для соизмерения затрат и эффектов инвестиционного процесса целесообразно использовать упрощённые оценочные показатели.

На этой стадии набор исходных данных весьма ограничен. Как правило, это горно-геологические условия для определения возможной системы разработки, запасы руды, содержание и рыночная цена металлов. Ряд показателей: капвложения, стоимости добычи, первичной и последующей переработки могут быть определены расчётом.

Рассмотрим возможности решения

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 09-05-00675-а).

рассматриваемой проблемы на примере обширного месторождения сульфидных медных руд. Запасы участка составляют 20 млн т, его обрабатывает рудник с годовой производительностью 1 млн т. Горнотехническая система горизонтальных слоёв с закладкой. Среднее содержание меди 1,3 %, цинка 2,3 %, вмещающие породы содержат 0,5 % меди. При переводе цинка в условную медь общее среднее содержание составит 2,0 %. Потери и разубоживание в системе горизонтальных слоёв одинаковы и равны 5 %. В добытой руде среднее содержание составит 0,1925 % условной меди.

Капитальные затраты на строительство рудника по вариантам определены по откорректированным формулам стоимостных моделей для подземных рудников [1]. То же и для вариантов переработки в зависимости от схемы технологического процесса и мощности обогатительной фабрики. Затраты на металлургическую переработку подобного типа руд составляют 380 долл/т меди (металла) [2].

Для оценки потенциальной экономической состоятельности проекта горнодобывающего предприятия в этих условиях может быть использован метод принятия решения в условиях неопределённости. Условия неопределённости понимаются как неопределённость исходных данных и будущих экономических показателей. Суть метода [3], представляющего собой ряд последовательных операций – шагов, состоит в сравнении двух соотношений прибыль/инвестиции. Одно из них r_m является минимальным значением, при котором проект (или его вариант) безубыточен. Второе – r_i представляет собой вероятную величину соотношения прибыль/инвестиции для данного проек-

та, то есть отражает эффект работы инвестиций при его реализации. В известной степени это можно рассматривать как интегральный показатель окупаемости инвестиций.

Выбирается уравнение для случайной переменной, описывающей общую прибыль. Не все переменные являются независимыми. Так, запасы и содержание негативно коррелируют между собой и теснота связи может быть определена коэффициентом корреляции – 0,3. Напротив, корреляция содержания и извлечения позитивна и теснота связи может быть принята +0,1. Тогда случайная переменная, описывающая общую прибыль на начало эксплуатации месторождения до выплаты налогов, описывается формулой:

$$P_i = \bar{X}_1 \bar{X}_2 (\bar{X}_3 \bar{X}_5 - \bar{X}_4) - 0,3(\bar{X}_3 \bar{X}_5 - \bar{X}_4) \times \sqrt{\text{Var}_{(x_1)} \text{Var}_{(x_2)}} + 0,1 \bar{X}_1 \bar{X}_5 \sqrt{\text{Var}_{(x_2)} \text{Var}_{(x_3)}}$$

Колебания прибыли определено разложением исходной функции в ряды Тейлора вокруг средней величины каждой переменной. Стандартное отклонение прибыли равно корню квадратному из величины колебания: станд. откл. = $\sqrt{\text{Var}_{(P)}}$.

Оценка реализуемости всех вариантов выполнена с учётом изменения исходных данных. Стандартные отклонения всех переменных от средней величины приняты равными 10%. Исходные данные сведены в табл., результаты представлены на рис..

Варианты увеличения **годовой производительности** и сокращения времени отработки обозначены сплошными линиями. А варианты снижения годовой производительности и растягивания срока отработки – пунктирными. Кривые семейства r_m с индексами вверху представляют границу безубыточности варианта проекта

Таблица

Исходные данные для оценки. (Базовый вариант)

Показатели	Ед. измер.	
Геологические запасы	млн.т	20
Среднее содержание условной меди в запасах	%	2,0
Применяемая система разработки		гор.слои с заклад.
Извлечение руды при добыче	%	95
Разубоживение	%	5
Извлекаемые запасы, (X ₁)	млн.т	20
Содержание усл.меди в извлекаемых запасах, (X ₂)	%	1,925
Эксплуатационные расходы при добыче	долл/т	21,8
Капвложения в рудник	млн.долл.	51,2
Извлечение при обогащении	%	93
Извлечение при металлургическом переделе	%	96
Общее извлечение, (X ₃)	%	85
Расходы на обогащение	долл/т	10,3
Расходы на металлургический передел	долл/т	11,3
Общие эксплуатационные расходы, (X ₄)	долл/т	43,4
Капвложения в обогатительную фабрику	млн.долл	18,1
Капвложения в металлургический завод	млн.долл	12,1
Общие капвложения в проект	млн.долл	81,4
Цена меди, (X ₅)	долл/т	5150
Цена цинка	долл/т	1650

при разной норме дисконта (5-15 %). Кривые семейства r с индексом вверху отражают возможности рассматриваемых вариантов.

Нарращивание производительности рудника (A_r) связано с дополнительными затратами. Для увеличения A_r на 30 % потребуется дополнительно 14,3 млн долл. и общие капвложения в вариант проекта возрастут с 81,4 до 95,7 млн долл. Для увеличения A_r на 50% потребуется дополнительно 21,8 млн долл., до 103,2 млн долл. Возрастание мощности сопровождается снижением общей себестоимости единицы продукции соответственно до 39,8 и 38,2 долл/т. Срок отработки сократится на 5 и 7 лет и составит 15 и 13 лет соответственно. При наращивании мощности, несмотря на дополнительные (возрастающие) капвложения в расширение рудника, можно рассчитывать на сокращение расходов на продукцию от 8,2 до 12 %. Тренд сохраняется и далее при обозначенных зависимостях моделей и

стоимостных показателях. (При дополнительных затратах в 28,4 млн долл. производительность рудника может быть увеличена до 1,7 млн т/год, что приведёт к снижению расходов на 14,6 % и сокращению срока отработки до 12 лет).

При снижении производительности нужно учесть, что инвестиции уже сделаны, они зафиксированы. И снижение производительности рудника связано с ростом общих затрат на производство единицы продукции. При снижении A_r на 10 % общие эксплуатационные расходы (X_4) возрастут с 43,4 до 44,4 долл/т, а срок эксплуатации увеличится на 2 года до 22 лет. (На рис. кривая $r^{0,9}$ расположена параллельно и чуть выше базовой $r^{1,0}$). При снижении A_r на 30 % общие эксплуатационные расходы составят 48,1 долл/т, время отработки увеличится на 8 лет и составит 28 лет. И, наконец, снижение A_r на 50 % увеличивает срок отработки до 40 лет (удваивает) при общих эксплуатацион-

ных расходах в 53,2 долл/т. При сокращении мощности, при уже вложенных инвестициях, расходы на продукцию возрастают на 10,8 до 22,6 %.

На первый взгляд всё выглядит благополучно. А именно: во всех рассмотренных вариантах показатель окупаемости затрат r_i расположен выше показателя безубыточности того же варианта r_m во всём диапазоне $i=5-25\%$. И вроде бы i вариант имеет право на реализацию.

Обратимся теперь к вероятности успешного воплощения проекта (P_s).

Коэффициент дисконтирования рассматривается как плата за риск и одновременно как «ставка интереса» или индекс прибыльности. Отправной точкой при оценке стоимости проекта является коэффициент дисконтирования $i=10\%$. С одной стороны, норма дисконта отражает инвестиционный риск и инфляцию, с другой, норма дисконта равняется приемлемой для инвестора норме дохода на капитал.

При $i = 10\%$ вероятность успеха базового варианта оценивается в 94,8 %, для $A_r = 1,3$ - в 95,4 %, для $A_r = 1,5$ - в 97,3 %. По мере сокращения времени отработки месторождения (несмотря на возрастающие инвестиции) вероятность надёжной реализации проекта возрастает. И, наоборот, при той же ставке дисконта $i = 10\%$ и $A_r = 0,9$ вероятность успеха P_s (штрихпунктирные линии) снижается до 93,6, при $A_r = 0,7$ - до 89,9 % и при $A_r = 0,5$ падает до 81,5 %. (При $i = 25\%$ и $A_r = 0,5$ вероятность успеха составит 49,8 %. Естественно данный вариант будет отбракован, хотя формально $r^{0,5} > r_m^{0,5}$ и вариант проекта обещает быть прибыльным за 40 лет, но с вероятностью менее 50 %, что чрезвычайно рискованно).

Отсюда следует, что снижение производительности рудника на 10-12(15) % по отношению к базовому вызовет негативные последствия в виде роста общих расходов, но рудник сохранит свою устойчивость (вероятность успеха P_s останется на уровне 93-94 %). Дальнейшее снижение производительности нежелательно, поскольку вероятность его успешной работы сильно снижается.

Получается, что наращивание производственной мощности рудника, требующей дополнительных капиталовложений и сокращающей срок отработки месторождения, положительно сказывается на результатах деятельности горно-металлургического производства. Снижение производительности рудника ведёт к негативным последствиям: рост затрат по всей цепочке: добыча, обогащение, металлургический передел. Удлинение срока отработки допустимо как вынужденная мера в ограниченном диапазоне 10-12 может быть 15 %.

Рассмотрим влияние изменения содержания в добытой руде на показатели реализуемости проекта при постоянной производительности рудника $A_r = 1$ млн т. Они выполнены по той же методике. Результаты представлены на рис. 2 в сопоставлении с предыдущими. Варианты с увеличением содержания обозначены сплошными линиями $r_c^{1,3-1,5}$, а варианты со снижением содержания $r_c^{0,9-0,5}$ - пунктирными. Отметим, что все вновь полученные кривые расположены выше кривых r_m , соответствующим вариантам безубыточности. Последние (кривые r_m) не претерпели изменений, так как они отражают результаты работы общего капитала на рынке и их значения зависят от длительности этого периода.

Для улучшения качества добываемой руды предстоят дополнительные

затраты, связанные с другой последовательностью и количеством вскрывающих и подводящих выработок по сравнению с базовым вариантом ($r^{1,0}$). Дополнительные затраты определены экспертным путём. В варианте увеличения на 30 % они предположительно составят 8,1, в варианте увеличения содержания на 50 % - 18,7 млн долл. и в целом капитальные затраты составят соответственно 89,5 и 100,1 млн долл. На рис. видно, что кривая $r_c^{1,3}$ расположена выше базовой $r^{1,0}$, а кривая $r_c^{1,5}$ расположена всё же ниже. Отсюда следует, что дополнительные затраты в 8,1 млн долл., повышающие содержание в руде до 2,5 % усл. меди в результате дадут положительный эффект во всём рассматриваемом диапазоне $i=5-25$ %. Во втором варианте дополнительные затраты в 18,7 млн долл. повышают содержание в добытой руде до 2,89 % усл. меди (на 50 %). В этом случае в диапазоне $i=5$ и 10 % получаем точно такую же окупаемость капложений как в базовом варианте ($r^{1,0}$). А далее ($i=15-25$ %) кривая $r_c^{1,5}$ расположена ниже $r^{1,0}$, т.е. вариант становится хуже. Затраты оказываются слишком высокими и не могут создать положительный эффект. Иначе, при «ставке интереса» не более 10 % и повышенных затратах вариант аналогичен базовому и проигрывает ему при больших значениях «ставки интереса»: не представляется возможным получить 15-25 % на вложенный капитал.

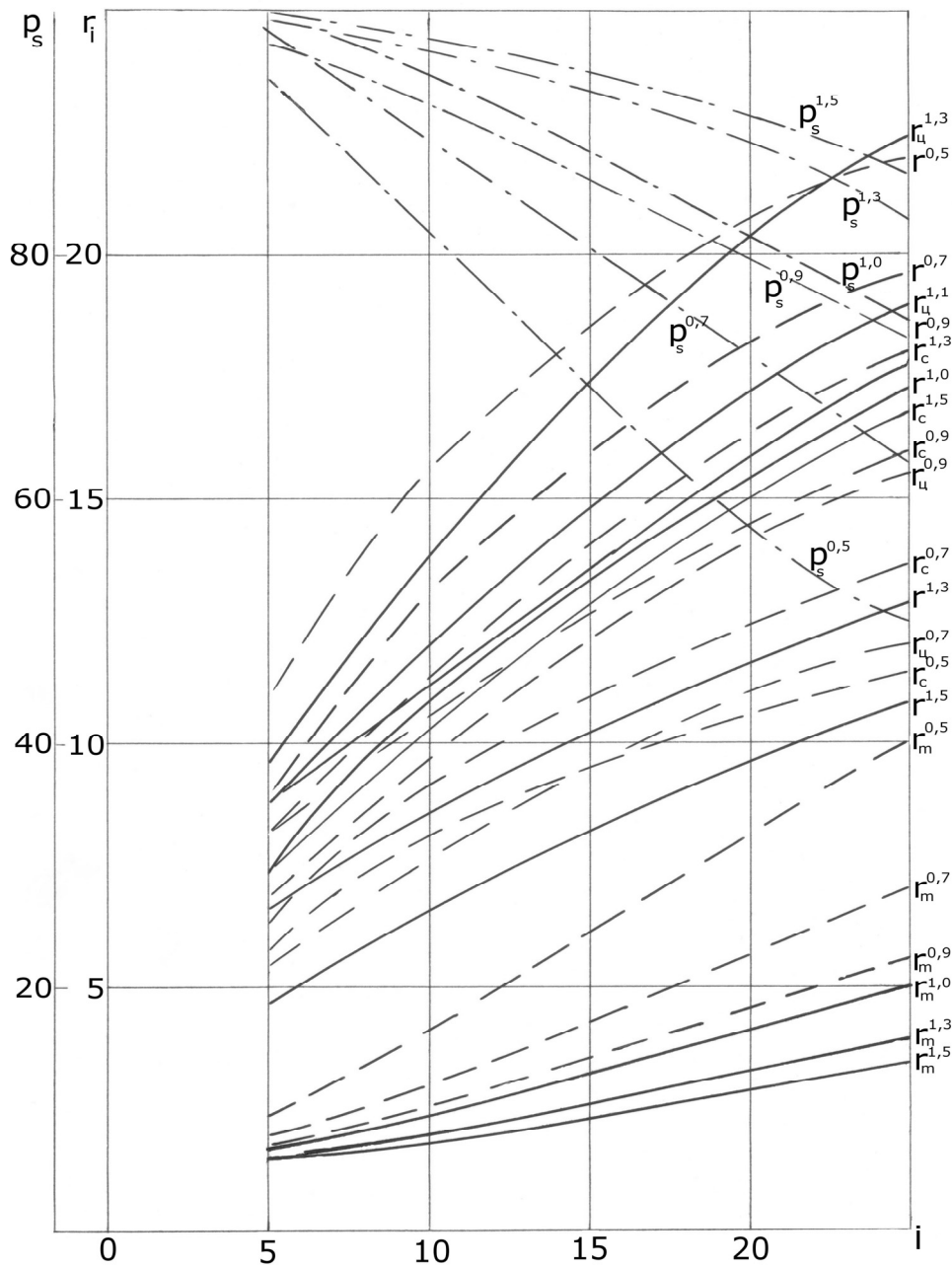
Если повышение капзатрат примерно на 10 % приводит к почти 30 % росту содержания в добываемой руде, то такие траты оправданы, они создают эффект во всём диапазоне оценки проекта от 5 до 25 %. В то же время 20 % повышение капзатрат, хотя и приводит к 50 % росту содержания, но не создаёт положительного

эффекта даже на начальных интервалах (5 и 10 %) оценки проекта и проигрывает на последующих.

Снижение содержания в добытой руде рассмотрено при постоянной производительности рудника, произведённых капзатратах и возрастающих эксплуатационных расходах. На имеющихся рабочих площадях регулирование содержания возможно организационно-техническими мероприятиями. Пунктирные кривые семейства r_c с индексами 0,9; 0,7; 0,5 последовательно отходят от $r^{1,0}$, перемешаются вниз и приближаются к семейству кривых r_m - отражающих безубыточность проекта. Особенно хорошо видно (особо малое расстояние между $r_c^{0,5}$ и $r_m^{0,5}$) при $i=25$ %. Интерполируя эти кривые, можно предположить, что при $i \approx 27-28$ % снижение на 50 % содержания в руде ставит вариант на грань выживания. Естественно, дальнейшее снижение содержания ничего хорошего не сулит.

Снижение содержания влечёт за собой растягивание сроков отработки месторождения и снижение вероятности получения желаемых результатов. На уровне оценки проекта $i=10$ % вероятность заданной доходности варианта составляет 93,6 % при снижении содержания на 10 %; снижается до 89,9 при 30 % и падает до 81,5 при 50 % снижении содержания. Понятно, что требуемая вероятность успеха проекта никак не может быть ниже 90 %.

Получается, что как повышение содержания, связанное с дополнительными инвестициями в проект, так и снижение содержания, при уже понесённых затратах, возможно, но оправдано только в некоторых рамках, предположительно 30 % диапазоне, за пределы которого выходить нецелесообразно в обоих случаях.



Реализуемость вариантов проекта при изменении: производительности рудника, содержания в руде, цены металла: i – норма дисконта, %; $r_m^{1,0}, r_m^{1,3}, r_m^{1,5}$ – граница безубыточности варианта; $P_s^{1,0}, P_s^{1,3}, P_s^{1,5}$ – вероятность заданной доходности варианта; показатели окупаемости инвестиций по вариантам: $r^{1,0}, r^{1,3}, r^{1,5}$ при изменении производительности, $r_c^{1,0}, r_c^{1,3}, r_c^{1,5}$ при изменении содержания, $r_u^{1,1}, r_u^{1,3}$ – при изменении цены металла

В рассматриваемом примере приведены средние условия, в том числе и по качеству балансовых запасов и добываемой руды. Допустимый диапазон колебания содержания в добытой руде определяется в каждом конкретном случае дополнительными расчётами. На основе изложенного можно предположить, что для более богатых руд рамки будут несколько шире или допустимы большие (относительно) дополнительные инвестиции; для более бедных руд рамки будут уже и дополнительные инвестиции – меньше.

Применённый метод позволяет выполнить качественную оценку. Каждый раз полученное значение r_i сравнивается с вычисленным ранее r_m . Чем дальше r_i отстоит от r_m , тем лучше, тем вариант предпочтительней. Сопоставление различных r_i между собой также выполняется через величину их расстояния от r_m .

Кривые $r_c^{1,3}$ и $r_c^{1,5}$, представляющие повышение содержания, расположены выше (отстоят дальше от r_m) кривых $r^{1,3}$ и $r^{1,5}$, представляющих соответствующий рост годовой производительности. Получается, что в условиях, обозначенных исходными данными, рост содержания в руде при дополнительных затратах выгоднее строительства рудника большей мощности.

Дальнейшие расчёты показывают, что дополнительные инвестиции в 40 млн.долл. (увеличение затрат в 1,5 раза) оправданы при получении 2,5 % содержания условной меди в добытой руде, вместо первоначальных 1,925 %. Кривая $r_c^{1,3 (+40)}$ сместится вниз (так влияют дополнительные инвестиции) и будет располагаться ненамного выше $r^{1,3}$. В этом случае общие, начальные и дополнительные, капиталовложения достигнут 121,4 млн долл. В тоже время строительство комплекса в 1,3

раза большей мощности по сравнению с первоначальной оценивается в 95,7 млн долл. Примерное равенство вариантов по получаемому металлу достигается разными методами (за счёт качества и за счёт количества) при различных затратах. Предпочтителен рост годовой производительности как менее затратный и более привычный – легче осуществимый.

Кривые $r_c^{0,9}$, $r_c^{0,7}$, $r_c^{0,5}$ расположены ниже (ближе к r_m) соответствующих кривых снижения производительности $r^{0,9}$, $r^{0,7}$, $r^{0,5}$. Снижение содержания в добытой руде значительно сильнее сказывается на конечном результате, чем снижение в тех же пределах годовой производительности.

Цена продукции на рынке является внешним фактором по отношению к предприятию. Но её изменение влияет (и притом весьма существенно) на результаты его деятельности. Влияние **изменения цены** рассмотрено на примере начального варианта (исходные данные в табл.). Результаты колебания цены представлены на рис.: сплошные линии $r_{ц}^{1,1}$ и $r_{ц}^{1,3}$ отражают рост цены меди на 10 и 30%, а кривые $r_{ц}^{0,9}$ и $r_{ц}^{0,7}$ - снижение цены в тех же пределах. Средняя цена меди на Лондонской бирже металлов в 2009 г составила 5150 долл/т, она и принята за начальную в исходных данных. При росте цены на 10 % она составит 5665, на 30 % - 6685, на 50 % - 7725 долл/т. Средняя цена за 2010 г превысила 8000 долл/т. При снижении цены на 10 % она составит 4635, а при снижении на 30 % - 3605 долл/т, последнее маловероятно.

Сравним кривые $r_{ц}^{1,1}$ и $r_c^{1,3}$. Первая расположена выше второй: рост цены на 10 % превышает повышение содержания в добытой руде на 30 %. В первом случае капиталовложения фиксированы, во втором нужны дополни-

тельные инвестиции для повышения содержания. Рост цены в 10 % сказывается на конечном результате сильнее, чем рост содержания ($r_c^{1,3}$), не говоря о росте цены в 30 %, представленном кривой $r_{ц}^{1,3}$.

При снижении цены на 10 % кривая $r_{ц}^{0,9}$ расположена ниже кривой $r_c^{0,9}$, тоже и при снижении цены на 30% ($r_{ц}^{0,7}$ ниже $r_c^{0,7}$). Здесь в обоих вариантах капвложения фиксированы. Снижение цены проявляется также резче, чем снижение содержания металла.

Подобные расчёты лучше выполнять с помощью ЭВМ. Создание компьютерной программы начинается с самых ранних стадий предпроектной работы. При постоянном пополнении к окончанию ТЭО программа насчитывает несколько сотен переменных величин. Быстрая совместная оценка меняющихся исходных данных на показатели работы предприятия служит инструментом выбора оптимальных проектных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юков В.А. Предварительная оценка вариантов комбинированной разработки месторождения. Маркшейдерский вестник. 2005, №3, с. 65-68.
2. Ашихмин А.А., Галбаатар Г., Дмитриев А.А., Ясько Т.А. Экономика, организация и управление горными предприятиями

цветной металлургии. М.: Изд-во МГГУ, 2004, 46 с. (с. 40).
3. Collins J.L. A new tool in financial decision-making under uncertainty. CIM Bulletin, 1993, March, p.109-115. 360-08-23. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Каплунов Давид Родионович – чл-корр. РАН, зав. отделом;
Юков Владимир Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Институт проблем комплексного освоения недр (УРАН ИПКОН РАН). Тел. (495) 360-08-23.



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
ЧИТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ГАВРИЛОВА Надежда Анатольевна	Обоснование технологии подземного выщелачивания урана многоствольными скважинами (на примере Хиагдинского месторождения)	25.00.22	к.т.н.