

## ВЕРоятНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА УЧЕТА РИСКОВ ПОИСКОВЫХ РАБОТ ПРИ ОЦЕНКАХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

С. В. Галкин, А. А. Иванов

(Пермский государственный технический университет, Пермский государственный университет)

К настоящему времени большинство месторождений Пермской области находится или вступает в позднюю стадию разработки. На таких месторождениях основная часть извлекаемых запасов углеводородов (УВ) уже отобрана, что снижает темпы добычи и эффективность деятельности нефтедобывающих предприятий. Таким образом, для стабилизации темпов добычи углеводородов одной из наиболее важных стратегических задач развития нефтедобывающей промышленности Пермской области следует считать прирост запасов новых месторождений углеводородов.

Однако, несмотря на несомненный технико-методический рост уровня поисковых работ, с конца 1980-х гг. в Пермской области наблюдается значительное снижение эффективности поиска новых нефтяных месторождений. Наиболее важной характеристикой успешности поисков является коэффициент успешности (удачи), равный отношению открытых нефтяных месторождений к общему числу опосредованных глубоким бурением объектов. Динамика коэффициента успешности показывает, что в последние годы на территории Пермской области он варьировал в диапазоне 35...55 %, тогда как в 1981—1986 гг. он составлял 63...65 %. Причем большинство потенциально новых открытий — это месторождения с малыми запасами УВ. Учитывая это, нефтегазодобывающие предприятия должны крайне взвешенно подходить к инвестициям в поисковые работы.

Падение эффективности поисков в Пермской области связано с объективными причинами, сходными во всех старых нефтедобывающих районах. Интенсивная разбуренность наиболее перспективных участков приводит к постепенному перемещению поисков в зоны с более сложными геологическими условиями, увеличивается число разбуриваемых мелких поднятий, в результате значительная часть объектов оказывается непродуктивной. Очевидно, что бурение пустых поисковых скважин значительно снижает экономические показатели работы предприятий. Таким образом, успешность деятельности нефтегазодобывающих предприятий, особенно в

Предлагается методика оценки политических и экономических рисков, которая позволяет определить привлекательность конкретных проектов. Использование вероятностных экономических расчетов дает возможность предприятиям более обоснованно выделять наиболее привлекательные инвестиционные направления геолого-разведочных работ.

Methods of political and economic risks estimation allowing to determine attractiveness of specific projects are offered. The use of possible economic calculations allows the enterprises to choose more attractive investment trends of geological and prospecting works more substantially.

перспективе их развития, во многом определяется стратегией поисковых и геолого-разведочных работ.

В настоящее время при оценке перспектив инвестиционных проектов геолого-разведочных работ (ГРП) с целью решения их основной задачи — максимизации прибыли используются, прежде всего, такие геолого-экономические показатели, как

чистый дисконтированный доход (*NPV*), срок окупаемости проекта и т. д. Сущность и примеры использования различных экономических оценок приведены в работах [1, 2]. Однако большинство подобной литературы ориентировано на экономические оценки других отраслей (операции с ценными бумагами, строительство). Неадаптированность предлагаемых в литературе подходов именно к оценке перспектив поисковых работ на нефть часто приводит к недостаточно объективному учету рисков, связанных с возможностью их отрицательного результата. Субъективность или недоучет этих рисков приводит к неверным экономическим оценкам перспектив окупаемости вложенных инвестиций, а следовательно, и целесообразности реализации самого инвестиционного проекта. Сложность непосредственного доступа к недрам и как следствие этого — высокая степень неопределенности геологической информации обуславливают целесообразность применения для решения поставленной задачи вероятностно-статистического подхода. В данной работе на примере территории Предуралья Краевого прогиба, которая в Пермской области является одной из наиболее перспективных для поисков нефти, предложена методика расчета геолого-экономических показателей именно с позиций, основанных на вероятностно-статистических оценках. В предлагаемых алгоритмах оценки инвестиционных проектов ГРП все настроечные коэффициенты (подтверждаемости, нефтегазоносности и т. д.) нужно оценивать с помощью комплексирования геолого-экономической информации по уже разбуренным и разрабатываемым районам. Следует заметить, что высокая разведанность старых нефте- и газодобывающих районов, каким является Пермская область, создает благоприятные условия для применения вероятностно-статистических методов.

На первом этапе необходимо определить принципиальный алгоритм учета рисков при поисках месторождений УВ. Основными составляющими геологических рисков при поисках нефти являются возможности неподтверждения подготовленных структур, отсутствие промышленной нефтегазоносности и завышение планируемых запасов нефти (газа). Таким образом, успешность ГРП, прежде всего, будет определяться коэффициентами подтверждения —  $P_{\text{подт.}}$ , нефтегазоносности —  $P_{\text{нефт.}}$  и перевода перспективных ресурсов в запасы —  $P_{\text{зап.}}$ .

Событие  $P_{\text{нефт.}}$  является взаимозависимым от подтверждаемости структур, так как в случае отсутствия антиклинальной ловушки вероятность промышленной нефтегазоносности крайне низка. Таким образом, вероятность успешности глубокого бурения (открытие месторождения УВ) —  $P_{\text{усп.}}$  можно оценить как:

$$P_{\text{усп.}} = P_{\text{подт.}} \cdot P_{\text{нефт./ант.}} + (1 - P_{\text{подт.}}) \cdot P_{\text{нефт./неант.}}$$

где  $P_{\text{нефт./ант.}}$  — вероятность промышленной нефтегазоносности в случае подтверждения структуры (наличие антиклинальной залежи);

$P_{\text{нефт./неант.}}$  — вероятность промышленных залежей в неантиклинальных ловушках.

В свою очередь вероятность события  $P_{\text{зап.}}$  также зависит от исхода события  $P_{\text{усп.}}$ , так как в случае отсутствия промышленной нефтегазоносности предполагаемые запасы вообще отсутствуют.

Помимо геолого-экономических показателей, перспективы освоения территорий во многом зависят от факторов неэкономического плана, связанных с ограничением возможностей глубокого бурения на нефть и газ. Эти факторы не статичны во времени, так как существующие положения и инструкции могут быть со временем (или в ближайший момент) пересмотрены. Неопределенность возможности глубокого бурения указывает на необходимость вероятностной оценки таких факторов. Ограничения выхода с бурением и добычей в определенные районы связаны с рисками осуществления долгосрочных инвестиционных проектов, что свидетельствует о необходимости вероятностного учета этих факторов при оценке перспектив района. В дальнейшем вследствие неэкономической природы рассматриваемых здесь рисков будем называть их политическими. Таким образом, под политическими будем понимать риски, связанные с решениями государственных инстанций по изменению условий осуществления инвестиционных проектов.

Для территории Предуральского краевого прогиба сложности проведения поисковых работ (часто полное запрещение бурения) связаны с расположением многих перспективных площадей в зонах многочисленных водоохранных зон и на территории Верхне-Камского месторождения калийных солей. Под  $P_{\text{полит.}} = 1$  в дальнейшем будем понимать ситуацию отсутствия политических рисков. При  $P_{\text{полит.}} \rightarrow 0$  вероятность осуществления инвестиционных проек-

тов вследствие имеющихся политических рисков стремится к нулю. Следует заметить, что оценка политических рисков является наиболее субъективной операцией, так как в большинстве случаев может быть получена только экспертным путем.

Таким образом, с учетом приведенных доводов, основываясь на вероятностно-статистическом подходе, наиболее объективной оценкой перспектив осуществления проекта можно считать величину математического ожидания  $NPV$ . Предлагаемый алгоритм расчета  $MO(NPV)$  можно отобразить в виде «дерева вероятностей» (рис. 1).

Показатель  $NPV$  обладает свойством аддитивности, поэтому значение его математического ожидания рассчитывается суммированием его вероятностных составляющих. Таким образом, справедлива формула

$$MO(NPV) = NPV_3 + NPV_2 + NPV_1$$

или

$$MO(NPV) = P_{\text{полит.}} \cdot P_{\text{усп.}} \cdot (\Pi P - Z_C - Z_B - Z_3) - P_{\text{полит.}} \cdot (1 - P_{\text{усп.}}) \cdot (Z_C + Z_B) - (1 - P_{\text{полит.}}) \cdot Z_C,$$

где  $\Pi P$  — прибыль от реализованной нефти;  $Z_C, Z_B, Z_3$  — затраты соответственно на сейсморазведку (структурно-параметрическое бурение), глубокое поисковое и эксплуатационное бурение.

Для территорий с отсутствием политических рисков или при оценке только геологических рисков  $NPV_1 = 0$ , причем и расчетная формула существенно упрощается:

$$MO(NPV) =$$

$$= P_{\text{усп.}} \cdot (\Pi P - Z_C - Z_B - Z_3) - (1 - P_{\text{усп.}}) \cdot (Z_C + Z_B).$$

Очевидно, что в случае  $MO(NPV) < 0$  проект является убыточным, в случае  $MO(NPV) > 0$  — прибыльным. При этом предполагается, что при расчетах показателей  $NPV$  путем их дисконтирования учтены соответствующие поправки за предполагаемую инфляцию и цену капитала.

Для реализации предложенного алгоритма расчета  $MO(NPV)$  необходимо количественно оценить геологические риски поисковых работ. Очевидно, что эффективность поисков и соответственно значения коэффициентов  $P_{\text{подт.}}$ ,  $P_{\text{нефт.}}$  и  $P_{\text{зап.}}$  для разных районов Предуральского краевого прогиба будут различны. Значительное число разбуренных объектов позволяет применить при оценке перспектив районов, находящихся на территории прогиба, вероятностно-статистические методы. Для количественной оценки эффективности геолого-разведочных работ объекты по перспективам подтверждения их ресурсов (запасов) необходимо разделить на три категории.

К первой нужно отнести объекты с предварительно оцененными запасами категории  $C_2$ , подтверждаемость которых следует признать наиболее высокой. Так как объекты с запасами этой категории непосредственно примыкают к уже разрабатыва-

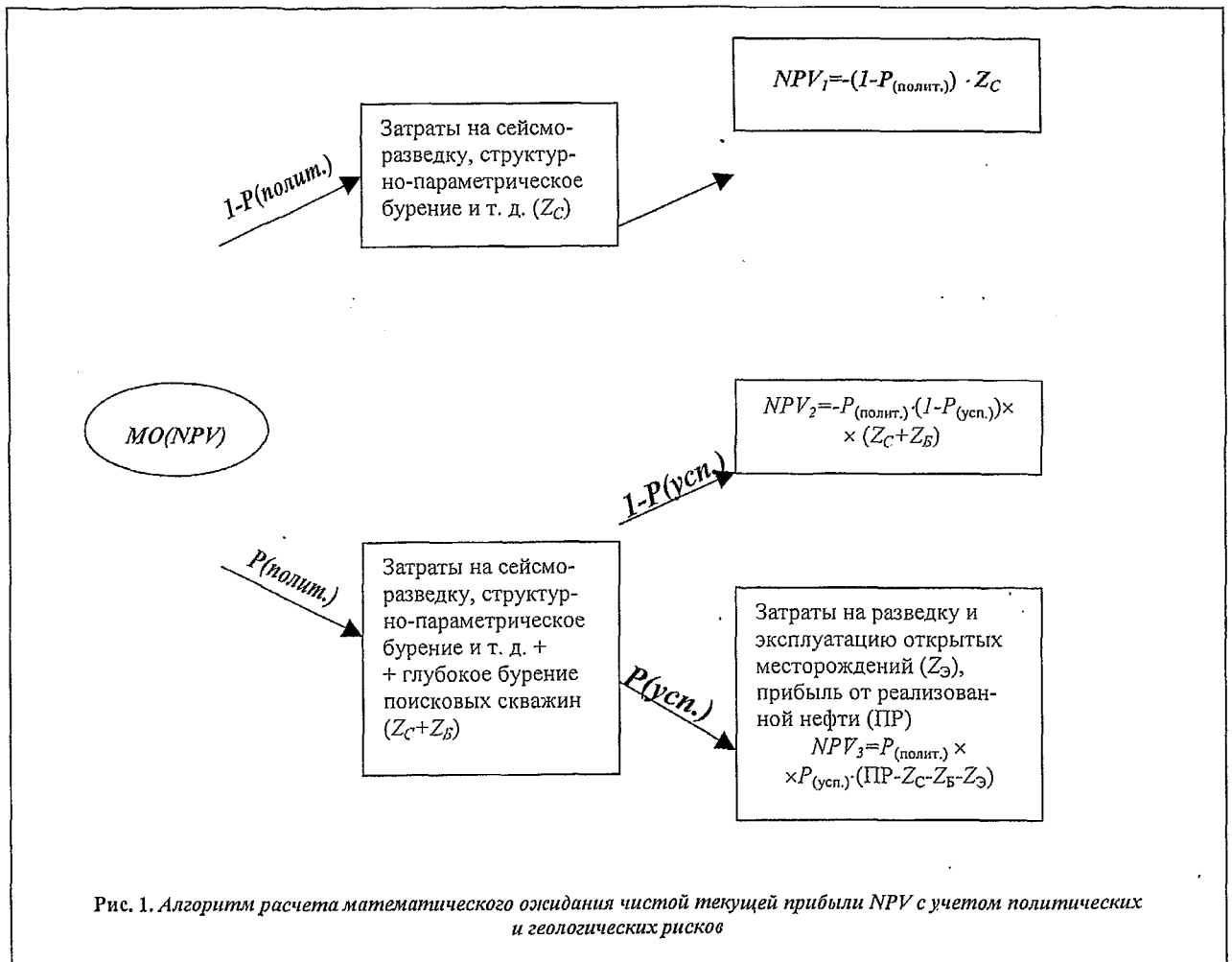


Рис. 1. Алгоритм расчета математического ожидания чистой текущей прибыли NPV с учетом политических и геологических рисков

емым месторождениям, коэффициент успешности поисков можно принять равным 1. Соответственно корректировка для запасов категории  $S_2$  при переводе их в промышленные категории возможна только в определении самих запасов. Величина корректировки должна оцениваться по аналогии с соседними территориями.

Ко второй категории относятся подготовленные к глубокому бурению структуры с подсчитанными запасами категории  $S_3$ . Для подготовленных структур уже известны предполагаемые по сейсморазведке или структурно-параметрическому бурению размеры (амплитуды, площади и т. д.) и местоположение объекта. В случае подготовки структур методом ОГТ с достаточной достоверностью установлены глубины залегания целевых отражающих горизонтов, прослеживаемость отражений и другие информативные показатели. Для оценки подтверждаемости и нефтегазоносности таких объектов возможно применение вероятностно-статистических методов, в комплексе учитывающих кондиционность подготовки, размеры структур и обстановку их геологического формирования. Очевидно, что при геолого-экономической оценке проектов, связанных с глубоким бурением на уже подготовленных объектах, затраты на подготовку структур отсутствуют —  $Z_C = 0$ .

Вероятностно-статистическими методами, которые могут быть рекомендованы при оценке перспектив подобных объектов, являются, прежде всего, линейный дискриминантный анализ (ЛДА) и метод построения вероятностных кривых. Примером комплексирования этих двух вероятностно-статистических методов для территории Пермской области может служить их совместное использование при оценке подтверждаемости и нефтегазоносности локальных объектов, реализованное в работах [3—6].

В настоящее время для исследуемой территории, как и в целом для Пермской области, количество перспективных объектов, на которых может быть проведено глубокое поисковое бурение, крайне ограничено. Вследствие этого для большинства геолого-экономических районов необходима геолого-экономическая оценка целесообразности инвестиций в геофизические и структурно-параметрические работы по подготовке ресурсов категории  $S_3$ . Планируемые перспективные ресурсы при этом рассчитывают исходя из ожидаемого их прироста на погонный километр сейсморазведочных работ. В этом случае местоположение структур можно оценить лишь ориентировочно. Исходя из этого, при оценке перспектив нефтегазоносности в

данном случае нужно оперировать только характеристиками, имеющими региональное распространение. К таким характеристикам можно отнести глубины залегания целевых сейсмических горизонтов, мощность осадочного чехла ( $M_{оч}$ ), местоположение относительно осевой части Камско-Кинельской системы (ККСП) прогибов ( $L$ ).

Целесообразность учета параметра  $L$  обусловлена тем, что 90 % выявленных месторождений и 95 % разведанных запасов нефти и газа установлены в бортовых и во внутренних зонах ККСП. Для этих зон характерна наименьшая доля непромышленных залежей и пустых ловушек.

Все изложенное выше позволяет констатировать, что местоположение структур относительно ККСП является важным критерием при вероятностных оценках прогноза нефтегазоносности.

Мощность осадочного чехла ( $M_{оч}$ ), по мнению многих исследователей, оказывает существенное влияние на распространение нефтегазоносности. Анализ работ многих исследователей показывает, что по мере возрастания мощности осадочного чехла практически во всех нефтегазоносных провинциях увеличиваются запасы УВ. Мощность осадочного чехла, влияя, прежде всего, на условия сохранности залежей УВ, так как ее увеличение обычно сопровождается ростом мощности изолирующих толщ-покрышек, снижением активности водообмена между проницаемыми комплексами; снижением активности водообмена между проницаемыми комплексами; увеличением мощности нефтепродукцирующих толщ.

В работе [3] показано, что распределение нефтегазоносных и пустых структур зависит от абсолютных отметок залегания кровли терригенного девона ( $H_{Д_3}$ ) и нижнего карбона ( $H_{ТЛ}$ ). Данные параметры, помимо гипсометрического положения, характеризуют и условия проявления главной фазы нефтеобразования, так как интенсивность процессов нефтегазообразования тесно связана с глубинами залегания нефтематеринских свит.

Помимо указанных региональных характеристик, при

оценке перспектив территорий крайне важно знать размеры подготовленных структур. Наиболее информативным локальным параметром предполагаемых структур, который можно (хотя и приблизительно) оценить на региональном этапе, являются перспективные запасы категории  $S_3$ . Следует заметить, что размеры подготовленных к глубокому бурению структур, помимо контроля нефтегазоносности, значительно влияют и на подтверждаемость локальных поднятий.

Вероятностно-статистическую оценку показателей  $P_{подг.}$  и  $P_{нефт.}$  для различных геолого-эконо-

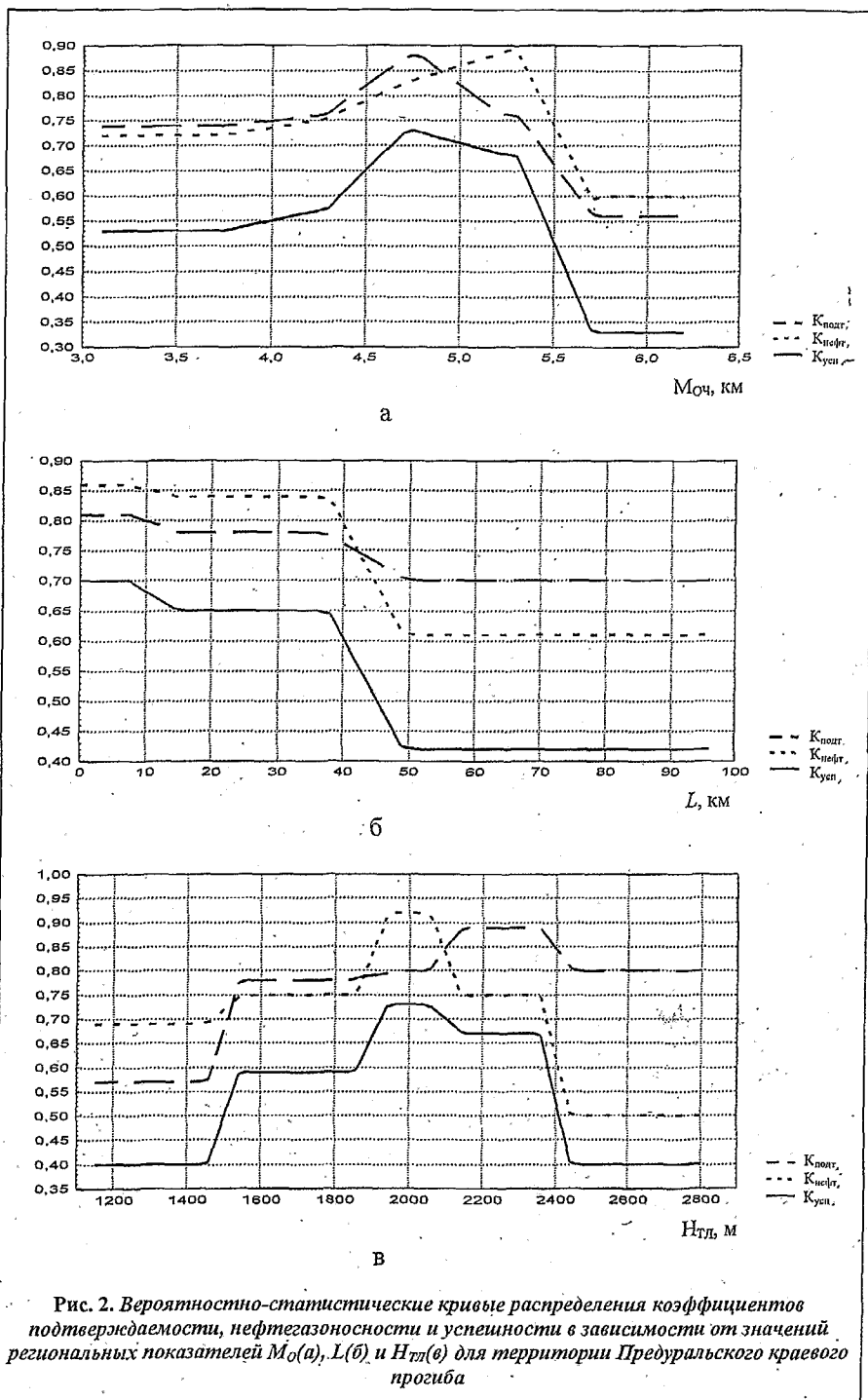


Рис. 2. Вероятностно-статистические кривые распределения коэффициентов подтверждаемости, нефтегазоносности и успешности в зависимости от значений региональных показателей  $M_{оч}$ (а),  $L$ (б) и  $H_{ТЛ}$ (в) для территории Предуральского краевого прогиба

мических районов Предуральяского краевого прогиба выполняли методом построения вероятностных кривых. Кривые строили путем осреднения показателей  $P_{\text{подг.}}$ ,  $P_{\text{нефт.}}$  и  $P_{\text{усп.}}$  по различным интервалам значений  $M_{\text{оч.}}$ ,  $L$  и  $H_{\text{тл.}}$ . При построении вероятностно-статистических кривых учтена вся имеющаяся информация по территориям Колвинской седловины, Соликамской депрессии, Косьюинско-Чусовской седловины и Юрюзано-Сылвенской депрессии. Таким образом, проанализирована информация о распределении геолого-тектонических показателей по 69 месторождениям, 19 пустым (из них два непромышленных скопления УВ) и 27 неподтвердившимся структурам. Кроме того, две пустые структуры выведены из бурения с неопределенными результатами в плане их подтверждения. Неантиклинальных месторождений на рассматриваемой территории пока не открыто, следовательно,  $P_{\text{нефт./ант.}} = 0$ . Таким образом, средние значения вероятностных оценок для изучаемой территории соответствуют  $P_{\text{подг.}} = 0,77$ ,  $P_{\text{нефт.}} = 0,76$ , а вероятность успешности бурения —  $P_{\text{усп.}} = 0,77 \cdot 0,76 = 0,58$ . Следует заметить, что большинство структур на данной территории подготовлено методом сейсморазведки.

На рис. 2 приведены вероятностно-статистические кривые подтверждаемости структур в зависимости от показателей  $M_{\text{оч.}}$ ,  $L$  и  $H_{\text{тл.}}$ . Как видно из рис. 2, а, наибольшей вероятностью успешности характеризуются структуры Соликамской депрессии со значениями  $M_{\text{оч.}}$  в диапазоне 3,5...4,0 км. При увеличении  $M_{\text{оч.}}$  до 6 км (Юрюзано-Сылвенская депрессия), прежде всего, резко, до 0,56, снижается показатель  $P_{\text{подг.}}$ , вследствие чего эффективность поисков значительно падает. Это связано со сложностью сейсмогеологических условий на территории депрессии (терригенный клин в пермских отложениях). Из рис. 2, б четко прослеживается закономерность снижения эффективности поисков по мере удаления от ККСП, причем эта тенденция наблюдается и для подтверждаемости, и для нефтегазонас-

ности. Глубины залегания также влияют на показатели успешности глубокого бурения (рис. 2, в). Наибольшая эффективность поисковых работ ( $P_{\text{усп.}} = 0,73$ ) наблюдается для структур с абсолютными отметками залегания  $H_{\text{тл.}}$ , равными -1900...-2100 м. По мере изменения  $H_{\text{тл.}}$  в большую и меньшую сторону  $P_{\text{усп.}}$  постепенно снижается до 0,40.

Таким образом, район предполагаемых ГРП с помощью приведенных на рис. 2 вероятностных кривых можно охарактеризовать осредненной вероятностной оценкой, зависящей от значений геолого-тектонических показателей:  $P_{\text{тект.}} = [P(M_{\text{оч.}}) + P(L) + P(H_{\text{тл.}})]/3$ .

Вероятностно-статистические кривые показателей подтверждаемости, нефтегазонасности и успешности бурения в зависимости от перспективных ресурсов категории  $C_3$  (рис. 3) построены на основе обобщения данных по 26 месторождениям, 16 пустым и 14 неподтвердившимся структурам Соликамской депрессии. Из рис. 3 видно, что для территории Предуральяского краевого прогиба перспективы успешности бурения тесно связаны с ресурсами  $C_3$ . При низких значениях ресурсов ( $C_3 < 200$  тыс. т) перспективы успешности бурения в данном районе крайне низки. Начиная с  $C_3 > 1500$  тыс. т,  $P(C_3)$  превышает 0,70, а все разбуренные к настоящему времени структуры с  $C_3 > 3500$  тыс. т оказались нефтеносными. Таким образом, вероятностно-статистическую оценку успешности бурения можно рассчитать как  $P_{\text{усп.}} = [P_{\text{тект.}} + P(C_3)]/2$ .

После оценки вероятности успешности глубокого бурения ( $P_{\text{усп.}}$ ) необходимо статистически оценить диапазон изменения предполагаемых запасов и получить корректирующую их вероятностно-статистическую оценку ( $P_{\text{зап.}}$ ). С этой целью для территории Предуральяского краевого прогиба построена зависимость запасов  $A + B + C_1 + C_2$  (упрощенно обозначим ее как  $C_1$ ) от ресурсов категории  $C_3$ . Зависимость имеет вид:  $C_1 = -722,4 + 1,1407 \cdot C_3$ , при  $r = 0,674$ . Из зависимости (рис. 4, а) и гистограмм распределения (рис. 4, б) видно, что при  $C_3 > 3500$  тыс. т запасы примерно соответствуют перспективным ресурсам  $C_3$ . При меньших ресурсах  $C_3$  запасы несколько завышены и для их корректировки можно использовать приведенную выше зависимость.

Таким образом, на основе обобщения всей полученной по результатам бурения информации для территории прогноза построены вероятностно-статистические кривые оценки успешности поисковых работ в зависимости от различных региональных гео-

логических параметров.

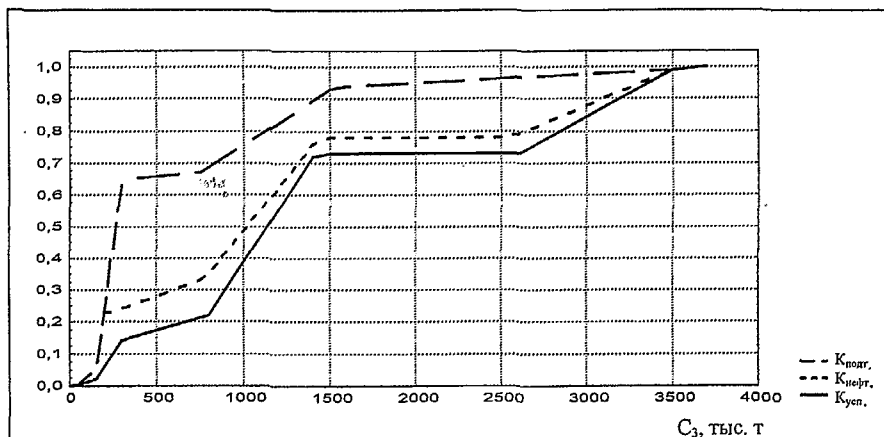


Рис. 3. Вероятностно-статистические кривые распределения коэффициентов подтверждаемости ( $K_{\text{подг.}}$ ), нефтегазонасности ( $K_{\text{нефт.}}$ ) и успешности ( $K_{\text{усп.}}$ ) в зависимости от перспективных ресурсов  $C_3$  для территории Предуральяского краевого прогиба

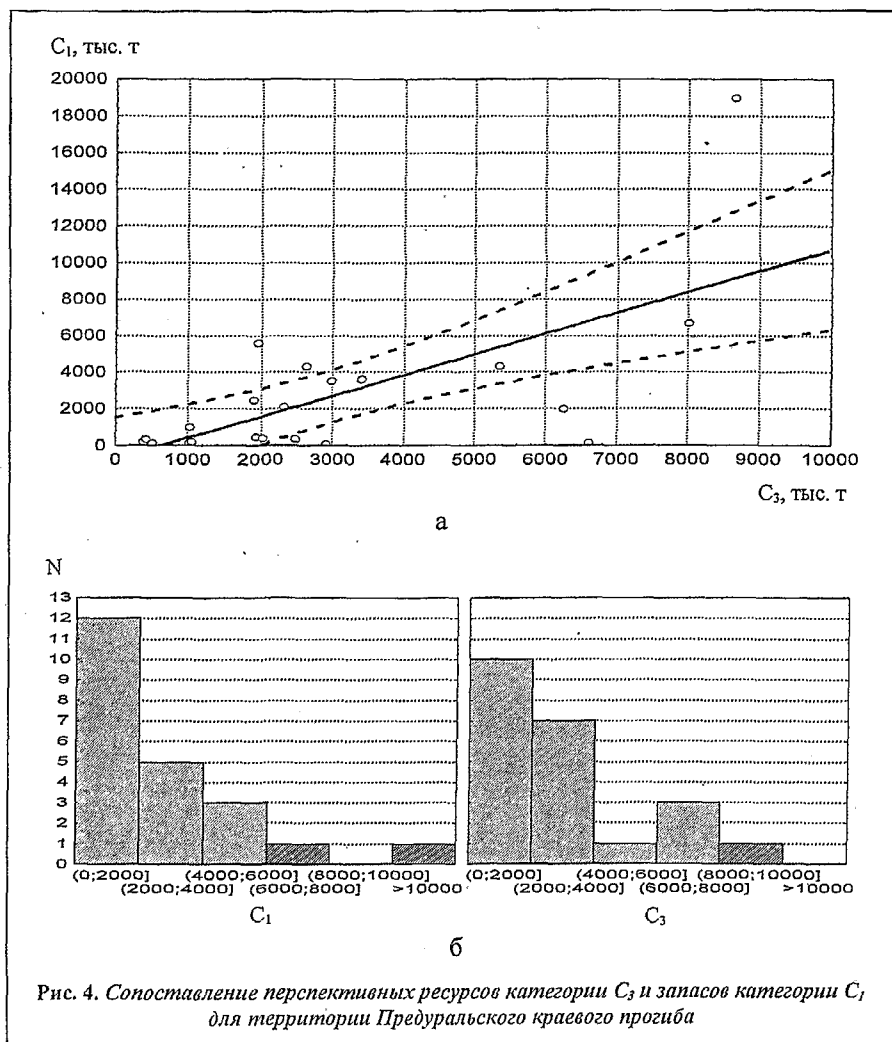


Рис. 4. Сопоставление перспективных ресурсов категории  $C_3$  и запасов категории  $C_1$  для территории Предуральяского краевого прогиба

логических показателей. Кроме того, статистически обоснованы зависимости успешности поисков от ресурсов категории  $C_3$ . Оценив геологические риски успешности поисков и при необходимости политические риски, с помощью предлагаемого алгоритма расчета величины  $MO(NPV)$  можно не только оценить экономическую привлекательность конкретного проекта, но и более обоснованно ранжировать несколько альтернативных проектов. Возможность практического использования данной методики обусловлена тем, что все предложенные в ней региональные показатели (мощность осадочного чехла, глубины залегания целевых отражающих гори-

зонтов и т. д.) можно достаточно достоверно определить до проведения инвестиций в сейсморазведку и глубокое бурение. Это позволяет численно оценить геологические риски поисковых работ различных проектов. Применение вероятностных экономических оценок дает возможность предприятиям более обоснованно выделять наиболее привлекательные инвестиционные направления ГРП и перспективные территории для лицензирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов.— М.: Финансы и статистика, 1998. — 144 с.
2. Глазунов В. Н. Финансовый анализ и оценка риска реальных инвестиций. — М.: Финстатинформ, 1997. — 135 с.
3. Галкин В.И., Лядова Н.А., Галкин С.В. Прогноз нефтегазоносности нижне- и среднекаменноугольных отложений на локальных структурах северо-восточной части Волго-Урала. — Пермь: Пермский гос. техн. ун-т, 1996. — 95 с.
4. Галкин С.В. К вопросу о подготовке структур сейсморазведкой к глубокому бурению // Геология месторождений полезных ископаемых. — Пермь: Пермский гос. техн. ун-т, 1997. — С. 100—106.
5. Галкин С.В., Растегаев А. В. Оперативная вероятностно-статистическая оценка подтверждаемости структур, подготовленных сейсморазведкой к глубокому бурению // Геологическое изучение и использование недр: Науч.-техн. информ. сб. / ЗАО «Геоинформмарк». — М., 1998. — Вып. 2. — С. 51—54.
6. Галкин С.В. О возможности прогнозирования подтверждаемости структур, подготовленных сейсморазведкой к глубокому бурению // Изв. вузов. Нефть и газ. — 1998. — № 4. — С. 22—27.