



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА В РОССИИ

Н. А. Мацко¹, М. Ю. Харитонова²¹Институт системного анализа РАН, Москва; ²Институт химии и химической технологии СО РАН, Красноярск

Приведены результаты долгосрочного прогнозирования динамики объемов золотодобычи в России. Моделирование осуществлялось с использованием логистической функции, связывающей объемы накопленной добычи золота с размером извлекаемых запасов и динамикой добычи, фактически сложившейся к началу периода оценки. В качестве исходных данных использовались сведения о размерах балансовых запасов золота, учитываемых Государственным балансом запасов полезных ископаемых РФ, а также о фактических объемах добычи золота в периоды, предшествующие началу прогнозного. Для верификации модели выполнено сопоставление расчетных и фактических данных об объемах золотодобычи в России и в целом по миру, которое продемонстрировало высокую тесноту связи. В результате моделирования было установлено, что достижение пиковых объемов добычи золота в России возможно уже в ближайшие 6–13 лет при сохранении рыночной конъюнктуры и без существенного изменения запасов. После этого начнется спад. Ввод в эксплуатацию крупных объектов нераспределенного фонда месторождений Сибири и Дальнего Востока позволит отложить момент начала затухания золотодобычи в этих регионах по крайней мере на 15 лет.

Ключевые слова: ограниченность ресурсов, золотодобыча, динамика добычи, пик добычи, долгосрочный прогноз.

FORECASTING OF GOLD PRODUCTION IN RUSSIA

N. A. Matsko¹, M. Yu. Kharitonova²¹Institute for Systems Analysis RAS, Moscow; ²Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS, Krasnoyarsk

The paper provides results of the long-term forecast of gold production performance in Russia. Modelling applied logistic function. It tied cumulative gold production with its recoverable reserves and production performance at the beginning of the evaluation period. The background data include on-balance gold reserves registered in the State Register of Mineral Reserves of the Russian Federation, as well as actual gold production before the evaluation period. The model was verified by correlation of estimated and actual data on gold production in Russia and the world, which has shown a high correlation ratio. According to the modelling results, the peak gold production in Russia may be achieved in 6 to 13 years, taken the same market conditions and nearly the same reserves. After that, gold production will begin to decrease. If large unlicensed fields in Siberia and the Far East are put into production, the gold production decrease in these regions will begin at least 15 years later.

Keywords: scarcity of natural resources, gold mining, production performance, production peak, long-term forecast.

DOI 10.20403/2078-0575-2016-4-87-92

Быстрый рост населения Земли, душевого потребления природных ресурсов и объемов их добычи из недр, увеличение количества отходов и изменение климата при осознании ограниченности ресурсного потенциала планеты и самовосстанавливающих свойств природной среды все чаще заставляют человека задумываться о перспективах его существования. Вряд ли в этих вопросах возможен точный прогноз, но важно хотя бы представлять масштабы ограничений и сроки до наступления неприемлемого для человечества снижения уровня жизни.

От этих сроков зависит, будут ли найдены и реализованы решения проблемы дефицита сырья и ухудшения экологического состояния окружающей среды. Такие решения должны быть направлены на создание более совершенных технологий добычи и переработки полезных ископаемых с высокими показателями извлечения полезных компонентов как из природных, так и из техногенных

месторождений; существенное увеличение доли сырья, получаемого с помощью рециклинговых технологий; поиск альтернативных материалов-заменителей и источников энергии. Однако, кроме этого, возможно, потребуются принимать решения по снижению уровня душевого потребления и контролю численности населения. Чем раньше эти меры будут приняты, тем длительнее может быть период устойчивого развития и выше жизненный уровень будущих поколений.

Впервые долгосрочные прогнозы динамики добываемых объемов были выполнены для нефти в 1956 г. американским геологом М. К. Хаббертом [4]. Исходя из данных о запасах, а также основываясь на объемах и динамике нефтедобычи в прошлом, он предсказал, что добыча нефти на материковой части США достигнет пика в начале 1970-х гг. (к этому моменту половина запасов будет извлечена), а затем резко пойдет на спад. В то время США являлись лидером по производству нефти в мире,

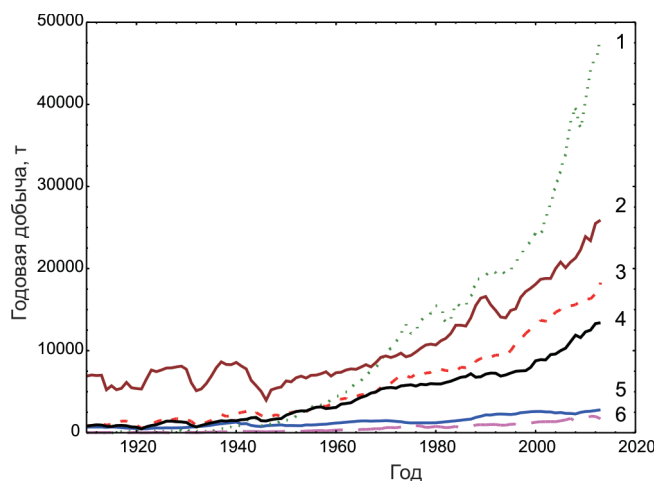


Рис. 1. Динамика мировой добычи некоторых металлов [5]

1 – алюминий, тыс. т; 2 – серебро, т; 3 – медь, тыс. т; 4 – цинк, тыс. т; 5 – золото, т; 6 – никель, тыс. т

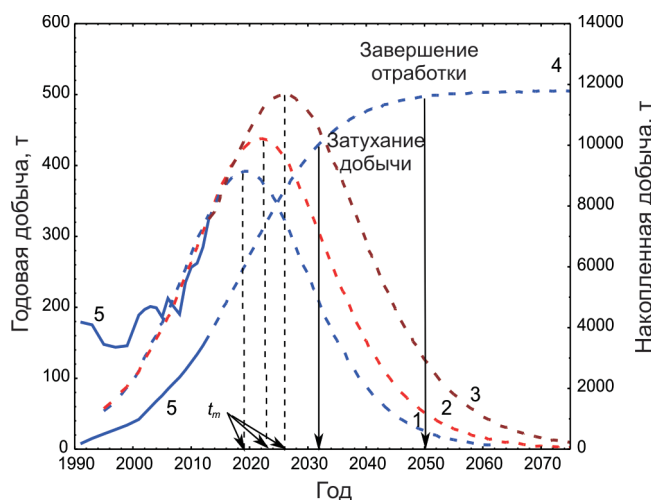


Рис. 2. Динамика добычи золота в России

Годовая добыча: 1 – модель 1; 2 – модель 2; 3 – модель 3; 4 – накопленная добыча, модель 1; 5 – фактическая добыча

добыча росла, и, казалось, ничего не подтверждало выводов М. К. Хабберта. Однако для США прогноз подтвердился, хотя и не оправдался для мировой добычи нефти.

Противники М. К. Хабберта оспаривают и сроки истощения запасов, и форму полученной зависимости, утверждая, что периоду спада добычи будет предшествовать длительное плато. Все это, тем не менее, не снижает остроты проблемы истощаемости минерально-сырьевых ресурсов. Сегодня, как и последние сто лет, динамика мировой добычи металлов демонстрирует непрерывный рост (рис. 1), но многие полагают, что пиковые объемы добычи либо уже пройдены, либо наступят в ближайшее время.

Анализ динамики добычи большей части других полезных ископаемых был выполнен шведским ученым Х. Сведрупом. С помощью моделирования он пришел к выводу о наличии пиков в производстве, рассчитал сроки их достижения и истощения

запасов большинства стратегически важных металлов. Также он рассмотрел сценарии, предусматривающие снижение уровня текущего потребления ресурсов, увеличение степени повторного использования сырья и сокращения населения Земли. Результаты этих исследований свидетельствуют о том, что пик добычи золота и фосфоритов уже миновал, а к 2040–2050 гг. наступит пик добычи основных металлов [6].

Нами осуществлен долгосрочный прогноз золотодобычи в России. Как видно из рис. 2, в течение 10 лет с начала 1990-х гг. объемы добычи золота в России снижались. После 2000 г. тренд изменился и объемы начали расти. Как долго продлится такая тенденция? Когда наступит пик добычи, или он уже пройден? Когда начнется сокращение добычи золота? Ответам на эти и другие вопросы посвящена данная статья.

Модель с логистическим трендом для прогноза добычи

Экспоненциальный или линейный рост характерен для процессов, не имеющих ресурсных ограничений. Для полезных ископаемых рост добычи не может быть бесконечным, он ограничен суммарными их запасами, и в перспективе в связи с их истощением неизбежны замедление роста и спад. Возможности научно-технического прогресса по повышению доступности запасов полезных ископаемых за счет развития новых технологий также не безграничны, к тому же в сырьевой отрасли они довольно низки. Как было установлено авторами [2], в медно-рудной отрасли средний темп снижения затрат на разработку в течение последних 100 лет в мире не превышал 1 % в год. Серьезные нововведения в изменении технологий и техники в сырьевой отрасли требуют длительного времени, происходит это раз в 20–30 лет.

Для прогноза добычи полезных ископаемых наиболее подходящим представляется логистический характер изменения параметров, который предполагает, что система в своем развитии во времени проходит несколько стадий. Сначала идет экспоненциальный рост, затем почти линейная фаза, далее замедляющийся рост и приближение к постоянному уровню или насыщению. Если рассматривать жизненный цикл отдельного добывающего предприятия, то он включает аналогичные этапы – постепенное увеличение добычи по мере подготовки запасов, затем, с выходом на проектную мощность, быстрый рост, далее – достаточно длительный период стабильных объемов добычи, а с истощением запасов – постепенное затухание добычи. В минерально-сырьевом комплексе страны или региона такая тенденция добычи в долгосрочном периоде также должна сохраняться.

Прогноз динамики добываемых объемов полезных ископаемых в рамках страны или отдельного региона предполагает суммирование прогно-



зов по отдельным месторождениям. При этом не всегда доступна для прогноза информация по разрабатываемым месторождениям (о сроках ввода в эксплуатацию, проектной мощности, времени ее достижения и др.). Стратегические и целевые показатели деятельности компаний – коммерческая тайна. Для месторождений из нераспределенного фонда получение информации для прогноза добычи также затруднено, так как связано с необходимостью прогнозировать последовательность ввода месторождений в эксплуатацию, находить месторождение-аналог, проектировать горнотехнические параметры разработки и мощность будущего предприятия. Для экспресс-оценки динамики добычи полезных ископаемых на большой территории (региона или страны) представляется возможным избежать детализации до уровня месторождений и использовать обобщенный подход, основанный на анализе фактических данных о добыче и о разведанных геологических запасах.

В данном исследовании с этой целью использовалась модель, в основе которой лежит логистическое уравнение, которое применяется при описании добычи ограниченных ресурсов (нефти, угля). Одной из наиболее известных таких моделей для описания добычи нефти является симметричная колоколообразная функция Хабберта [4].

Изменение объемов добычи во времени описывается дифференциальным уравнением Ферхюльста:

$$\frac{dP(t)}{dt} = rP(t) \left(1 - \frac{P(t)}{S} \right), \quad (1)$$

где $P(t)$ – накопленные к моменту t объемы добычи; S – суммарные отрабатываемые запасы; r – параметр, характеризующий скорость роста добычи.

Из этого уравнения следует, что общий объем добытых запасов как функция времени $P(t)$ описывается уравнением

$$P(t) = \frac{SP_0 e^{rt}}{S + P_0(e^{rt} - 1)}, \quad (2)$$

где P_0 – объемы добычи в момент времени t_0 .

Функция (2) описывает изменение накопленной добычи в виде S-образной кривой, сопровождающееся изменением скорости роста. Такое изменение показателя называется логистическим. Логистическая кривая (2) отражает кумулятивную (накопленную) добычу к моменту времени t .

Для того чтобы получить скорость изменения накопленной добычи, возьмем производную $P(t)$ по t :

$$\begin{aligned} P'(t) &= \frac{dP(t)}{dt} = \frac{SP_0 r e^{rt} (S - P_0)}{(S + P_0(e^{rt} - 1))^2} = \\ &= P(t) \frac{r(S - P_0)}{S + P_0(e^{rt} - 1)}. \end{aligned} \quad (3)$$

Уравнение (3) описывает годовую добычу.

Скорость изменения накопленной добычи и накопленная добыча связаны уравнением:

$$\frac{dP(t)}{dt} = P(t)k(t), \quad (4)$$

$$k(t) = \frac{r(S - P_0)}{S + P_0(e^{rt} - 1)}, \quad (5)$$

где $k(t)$ – темп роста накопленной добычи.

Из (1) и (4) следует зависимость темпа роста добычи от накопленной добычи:

$$k(t) = r - \frac{r}{S} P(t). \quad (6)$$

Согласно уравнению (6), темп роста добычи линейно уменьшается с ростом накопленной добычи $P(t)$.

График изменения добычи во времени (3) имеет колоколообразную форму. Максимум можно определить, приравняв к нулю вторую производную. Пик (m) годовых объемов добычи достигается в год t_m в точке

$$t_m = \frac{1}{r} \ln \frac{S - P_0}{P_0}. \quad (7)$$

Подстановка (7) в (2) дает значение объемов добычи, накопленных к моменту достижения пика, что происходит при исчерпании половины запасов:

$$P(t_m) = S/2. \quad (8)$$

Подстановка (7) в (5) дает значение темпа роста годовой добычи в год пиковой добычи

$$k(t_m) = r/2. \quad (9)$$

Подстановка (8), (9) в (4) дает значение пиковой добычи – годовой добычи в момент пика:

$$P'(t_m) = k(t_m)P(t_m) = Sr/4.$$

Параметр r может быть определен из (5) по фактическим данным на момент начала прогноза ($t = 0$):

$$r = \frac{Sk(t)}{S - P_0}. \quad (10)$$

Располагая значениями параметров начальной добычи (P_0) и суммарных отрабатываемых запасов (S), можно прогнозировать динамику добычи с помощью уравнений (1)–(10). Сначала по фактическим данным определяется параметр r , затем прогнозируются накопленная добыча $P(t)$, годовые объемы добычи $P'(t)$, темп роста накопленной добычи $k(t)$, год наступления максимальной добычи t_m и величина максимальных объемов добычи $P'(t_m)$. Под начальной добычей подразумевается количество фактически добытого полезного ископаемого к началу прогнозируемого периода. Суммарные отрабатываемые запасы включают в себя уже добытые запасы плюс разведанные геологические запасы на начало прогнозируемого периода.



Прогноз динамики добычи золота в России

Параметр	Модель 1	Модель 2	Модель 3
Суммарные обрабатываемые запасы (S), т	11784,7	14214,8	18316,9
– добытые запасы на начало 2014 (P_0), т,	3731,4	3731,4	3731,4
– разведанные запасы и прогнозные ресурсы, т	8053,3	10483,4	14585,5
категорий А, В, C_1	8053,3	8053,3	8053,3
категорий C_2	–	2430,1*	2430,1*
категорий P_1, P_2, P_3	–	–	4102,1*
Параметр r , характеризующий скорость роста добычи	0,133	0,123	0,109
Пиковая добыча $P'(t_m)$, т/год	392	438	500
Период достижения пиковой добычи (t_m), лет	6	8	13
Год пиковой добычи	2019	2021	2026
Темп роста накопленной добычи			
на начало 2014 г., % в год	9	9	9
на момент пиковой добычи, % в год	6,6	5,9	5,6
на 2030 г., % в год	2,4	3,2	4,1

* С учетом коэффициентов приведения запасов категории C_2 и прогнозных ресурсов к запасам условной (расчетной) категории C_{1np} .

Рассматриваемый метод прогнозирования добычи апробирован на примере золотодобычи в России и золотодобывающих регионов Сибири и Дальнего Востока.

Применение модели для прогноза добычи золота в России

Государственным балансом запасов полезных ископаемых РФ учитывается более 12,9 тыс. т золота в недрах, что составляет около 12 % мировых запасов. На долю разведанных (категорий А+В+ C_1) приходится более 8 тыс. т. Велик и потенциал наращивания российской сырьевой базы золота: прогнозные ресурсы категории P_1 оцениваются более чем в 5,3 тыс. т, в значительном количестве выявлены ресурсы более низких категорий. По объему добычи золота из недр Россия в 2013 г. заняла второе место в мире после Китая [1].

За начало прогнозного периода принят 2014 г. Данные о количестве фактически добытого золота за годы, предшествующие прогнозируемому периоду, и о суммарных разведанных запасах взяты из Государственного доклада «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации» [1], который является официальным источником.

Были выполнены три варианта прогноза (см. таблицу, рис. 2). Во всех вариантах использовали фактические данные о добыче с 1991 по 2013 г. В первом варианте в качестве разведанных геологических запасов использовались запасы золота категорий А, В и C_1 ; во втором – А, В, C_1 плюс предварительно оцененные запасы категории C_2 ; в третьем – А, В, C_1 , C_2 плюс прогнозные ресурсы P_1, P_2, P_3 . Второй и третий варианты расчета произведены с учетом того, что в краткой или среднесрочной перспективе при переоценке запасов будет достигнут их прирост за счет перевода из низких категорий

в более высокие. В расчетах использовались коэффициенты приведения запасов категории C_2 и прогнозных ресурсов к запасам условной категории C_1 , рекомендуемые Роснедра для всех рудных полезных ископаемых ($C_2 = 0,5$; $P_1 = 0,25$; $P_2 = 0,125$; $P_3 = 0,0625$) [3].

Пик добычи по первому варианту наступит довольно скоро – в 2019 г. Из рис. 2 видно, что с 2013 г., когда было добыто 324,4 т, добыча растет примерно до 2019 г. Затем, когда будет добыто около половины запасов, годовая добыча достигнет максимума с уровнем около 392 т. За это время темп роста накопленной добычи снизится с 9 % в год до 7 % (кривая 4 на рис. 2). После достижения пика к 2030 г. темп роста ожидается 2–3 % в год, а годовая добыча достигнет уровня 2009 г.

При увеличении извлекаемых запасов за счет предварительно оцененных (модель 2) пик возможен в 2021 г., пиковая добыча ожидается примерно 438 т золота в год. Прирост добычи золота за счет доразведки и вовлечения в разработку запасов более низких категорий может составить 42 т в 2020 г и вырасти почти до 100 т в 2030 г. Снижение годовой добычи ниже уровня, достигнутого в настоящее время, прогнозируется после 2032 г. По нашим оценкам, к этому году темп роста накопленной добычи снизится примерно до 3 % в год.

При увеличении извлекаемых запасов за счет прогнозных ресурсов (модель 3) максимальная годовая добыча оценивается в 500 т и прогнозируется на 2026 г.

Моделирование темпа роста накопленной добычи

К сожалению, выборка доступных данных о фактических объемах добычи золота в России в предшествующие периоды оказалась мала. Чтобы убедиться в правомерности использования описан-



ного подхода, было осуществлено моделирование темпа роста мировой накопленной добычи золота и выполнено сопоставление фактических данных с данными, полученными в результате моделирования (рис. 3). Сопоставление показало хорошую корреляцию ($R^2 = 0,688$).

Сравнение темпов роста накопленной добычи, полученных в результате моделирования (для модели 1), с фактическими данными для золотодобычи России показано на рис. 4. Как видно, с 2005 г. кривые близки друг к другу, с этого года данные по уже добытым запасам приближаются к прямой линии. Это дает основание полагать, что с 2005 г. уравнение (6) отражает динамику накопленной добычи с приемлемой точностью.

При пересечении прямой с осью X (см. рис. 4) темп роста накопленной добычи понизится до нуля, накопленная добыча станет максимальной и равной суммарным извлекаемым запасам (S), добыча сократится до нуля. По нашим оценкам, это произойдет в 2050 г. Из рис. 4 видно, что в России с 1991 г. добыто почти 4000 т золота и осталось извлекаемых запасов еще около 8000 т.

Прогноз добычи золота в основных золотодобывающих регионах

В шести золотодобывающих регионах Сибири и Дальнего Востока сконцентрировано почти три четверти запасов и ресурсов категории P_1 : в Иркутской и Магаданской областях, Республике Саха (Якутия), Красноярском и Забайкальском краях и Чукотском АО. В соответствии с прогнозом суммарный максимальный уровень годовой добычи в этих регионах (380–400 т) будет достигнут через 13 лет (рис. 5). Однако в некоторых регионах пиковая добыча возможна уже в ближайшие 2–7 лет, далее она начнет сокращаться. Так, максимальный уровень годовой добычи в Красноярском крае (110 т) ожидается через 6 лет, в Амурской области (35 т) и в Хабаровском крае (24 т) через 2 года, в Чукотском АО (46 т) через 7 лет от начала прогноза.

Ввод в разработку месторождений нераспределенного фонда – уникального по запасам Сухой Лог (Иркутская обл.), крупного Кючус в Республике Саха (Якутия) и средних по запасам Итакинского и Балецкого в Забайкальском крае – будет способствовать сдерживанию падения объемов добычи и смещению момента начала сокращения добычи в этих регионах. Так, например, в Иркутской области снижение добычи возможно после 2027 г. К этому времени будет отработана половина запасов и темп роста накопленной добычи снизится с 16,2 до 8,7 % в год. В Республике Саха (Якутия) снижение добычи вероятно к 2028 г. после достижения пиковой добычи примерно 60 т. Моделирование показало, что в ближайшей перспективе (≈ 15 лет) возможно поступательное наращивание добычи за счет ввода в освоение резервных месторождений, затем благоприятные условия для роста будут исчерпаны

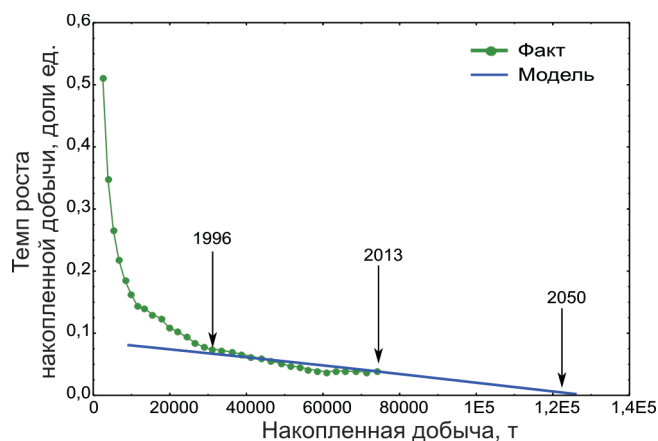


Рис. 3. Прогноз темпа роста накопленной добычи золота в мире на 1980–2050 гг.

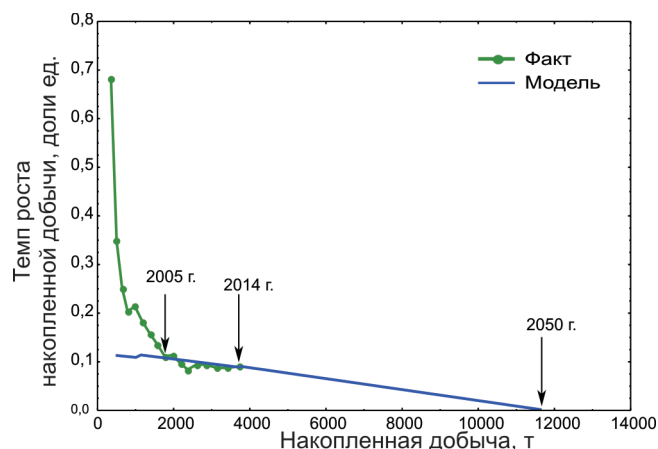


Рис. 4. Прогноз темпа роста накопленной добычи золота в России на 1991–2050 гг. (модель 1)

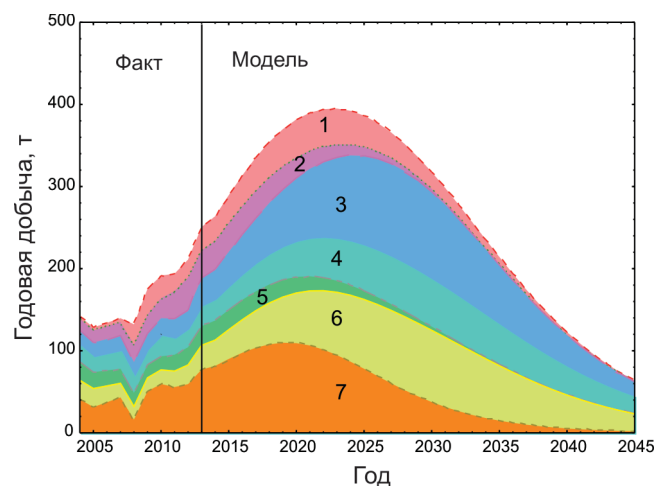


Рис. 5. Прогноз золотодобычи в регионах Сибири и Дальнего Востока

1 – Чукотский АО; 2 – Амурская область; 3 – Иркутская область; 4 – Республика Саха (Якутия); 5 – Хабаровский край; 6 – Магаданская область; 7 – Красноярский край

и начнется снижение добываемых объемов золота. Полученные оценки объемов золотодобычи в 2015–2045 гг. могут быть увеличены при приросте запасов.

Выводы

Для долгосрочного прогнозирования объемов добычи золота в России использовалась модель



с логистическим трендом. В результате моделирования установлено, что достижение пиковых объемов добычи золота в России возможно уже в ближайшие 6–13 лет. К этому времени половина запасов будет отработана и начнется снижение годовых объемов добычи.

В золотодобывающих районах Сибири и Дальнего Востока, на долю которых приходится почти три четверти запасов и ресурсов золота России, моменты достижения максимальных объемов добычи близки к этим же значениям, но могут быть отодвинуты во времени при вводе в эксплуатацию крупных объектов нераспределенного фонда месторождений. При этом возможности по наращиванию объемов добычи в этих регионах будут сохраняться в течение ближайших 15 лет.

Прогноз выполнен исходя из текущего состояния рынка золота и минерально-сырьевой базы России. Внешние факторы, оказывающие существенное влияние на спрос и предложение, могут отложить или, наоборот, приблизить пик добычи золота. Прирост запасов за счет разведки или неподтверждение прогнозных ресурсов также способны скорректировать срок наступления пика, хотя по многочисленным оценкам пик открытия новых месторождений золота уже пройден.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Государственный доклад** «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2013 году». М., 2014. – Точка доступа: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1257>.
2. **Пешков А. А.** Доступность минерально-сырьевых ресурсов. – М.: Наука, 2004. – 280 с.
3. **Приказ** Минприроды РФ от 30 декабря 2014 г. № 577 «Об утверждении методики по определению стартового размера разового платежа за пользование недрами от 30 сентября 2008 г. № 232». – Точка доступа: <http://docs.pravo.ru/document/view/66167980/77142913>.
4. **Hubbert M. K.** Nuclear Energy and the Fossil Fuels // American Petroleum Institute. Publication No 95. Shell Development Company. June, 1956. P. 1–40. – Available at: <http://www.hubbertpeak.com/hubbert/1956/1956.pdf>.
5. **Mineral commodity summaries, 2013 / USGS.** Wash. (D. C). 2013. 196 p. – Available at: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics>.

6. **Ragnarsdottir K. V., Sverdrup H. U., Koca D.** Assessing long term sustainability of global supply of natural resources and materials // Sustainable Development – Energy, Engineering and Technologies – Manufacturing and Environment; ed. prof. Chaouki Ghenai, 2012. – Available at: http://cdn.intechopen.com/pdfs/29933/InTech-Assessing_long_term_sustainability_of_global_supply_of_natural_resources_and_materials.pdf.

REFERENCES

1. **Gosudarstvennyy doklad** «O sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2013 godu» [National Report on the State and Use of Natural Resources of the Russian Federation in 2013]. Moscow, 2014. Available at: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1257>. (In Russ.).
2. **Peshkov A.A., Matsko N.A.** *Dostupnost' mineral'no-syr'evykh resursov* [Availability of mineral resources]. Moscow, Nauka Publ., 2004. 280 p. (In Russ.).
3. **Ministerstvo prirodnikh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii. Prikaz ob utverzhdenii metodiki po opredeleniyu startovogo razmera razovogo platezha za pol'zovanie nedrami ot 30 sentyabrya 2008 g. N 232** [Ministry of National Resources and Ecology of the Russian Federation. Order on the Approval of the Methods to Evaluate the Initial Amount of the One-Time Payment for Using Subsoil no. 232 dated 30 September 2008]. Available at: <http://docs.pravo.ru/document/view/66167980/77142913>. (In Russ.).
4. **Hubbert M. K.** Nuclear Energy and the Fossil Fuels. *American Petroleum Institute. Publication No 95.* Shell Development Company. June, 1956, pp. 1–40. Available at: <http://www.hubbertpeak.com/hubbert/1956/1956.pdf>.
5. **Mineral commodity summaries, 2013.** USGS. Wash. (D. C). 2013. 196 p. Available at: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics>.
6. **Ragnarsdottir K. V., Sverdrup H. U., Koca D.** Assessing long term sustainability of global supply of natural resources and materials. *Sustainable Development – Energy, Engineering and Technologies – Manufacturing and Environment.* Ed. prof. Chaouki Ghenai, 2012. Available at: http://cdn.intechopen.com/pdfs/29933/InTech-Assessing_long_term_sustainability_of_global_supply_of_natural_resources_and_materials.pdf.

© Н. А. Мацко, М. Ю. Харитоновна, 2016