

УДК 622.277

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕНОСА БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ФЛЮИДАМИ В МАССИВЕ ТЕХНОГЕННОГО ОБЪЕКТА

Вашлаев И. И., Михайлов А. Г.

*Институт химии и химической технологии СО РАН, Красноярск, Россия, г. Красноярск,
e-mail: chem@icct.ru*

Изучены основные параметры и закономерности геофлюидных процессов в материале хвостов обогащения, с целью использования в дальнейшем в расчетах инфильтрационной технологии добычи полезных ископаемых. Установлено изменение удельной водовместимости гигроскопического материала при различном положении уровня грунтовых вод. Изучена динамика скорости прохождения раствора через слой породы хвостохранилища с течением времени при малых значениях напора.

Ключевые слова: добыча, инфильтрация, техногенный объект, моделирование параметров, благородные металлы.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF KEY PARAMETERS OF CARRYING OVER OF PRECIOUS METALS FLUIDS IN THE FILE OF TECHNOGENIC OBJECT

Vashlaev I. I., Mikhailov A. G.

Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS, Krasnoyarsk, Russia, Krasnoyarsk, e-mail: chem@icct.ru

Critical parameters and legitimacies of geofluid processes in a material of tailings of beneficiating, for the purpose of usage in calculations infiltration recovery processes of minerals are learnt further. Variation of specific water containment of a water-absorbing material at various position of ground water table is erected. Dynamics of a speed of propagation of a mud through a stratum of formation of a tailing dump is learnt eventually at small values of head.

Keywords: extraction, infiltration, anthropogenic object, modelling of parameters, precious metals.

В России ресурсный потенциал техногенных объектов, содержащих благородные металлы, возможных к использованию для повторной обработки, весьма значителен: на долю прогнозных техногенных россыпей золота приходится более 50 % от всего добытого в России золота [3]. При переработке сульфидных медно-никелевых руд Норильского ГМК сформировано крупное по запасам (первые сотни тонн) техногенное месторождение благородных металлов. Уровень содержания суммы платиновых металлов и золота в отдельных разновидностях хвостов здесь достигает нескольких граммов (иногда десятков граммов) на тонну [3]. Только в Сибири наибольший интерес для повторной обработки представляют хвосты обогащения объединения Балеизолото, Северо-Енисейского и Артемовского рудников, шламы Ачинского глиноземного комбината и др.

Техногенные объекты из хвостов обогащения являются специфическими образованиями, их особенностями являются вещественный состав, условия накопления и хране-

ния, набор остаточных реагентов и влияние отдельных микроорганизмов на сам техногенный объект. Повторная отработка техногенных объектов может производиться традиционным способом обогащения, кучным выщелачиванием. Особый интерес представляет разработка таких техногенных месторождений на базе новых физико-химических геотехнологий. В результате природного воздействия на массив техногенного объекта происходит естественное геодинамическое движение флюидов. Так как среда массива хвостохранилищ является агрессивной, то вследствие движения флюидов происходят сложные физико-химические превращения, и некоторые элементы могут переходить в раствор, из которого в дальнейшем можно извлечь полезные компоненты. Наибольшую целесообразность для такого извлечения представляют благородные металлы, потому что в связи с их высокой ценностью эффективное промышленное извлечение возможно с небольшими содержаниями этих металлов в растворах. Можно задать внешнее управляющее воздействие на геофлюидные и физико-химические процессы в массиве с целью их активации и возможности разработки новых технологий извлечения полезных компонентов.

Для извлечения полезных компонентов из техногенных залежей предлагается два варианта инфильтрационной технологии [2]: с использованием гигроскопического слоя (рис.1 а) и канав для сбора раствора (рис. 1 б). Суть первой технологии заключается в следующем: раствор по скважинам закачивается в массив хвостохранилища, поднимаясь вверх, растворяет требуемые компоненты, проходит через геохимический барьер и по капиллярам накапливается в гигроскопическом материале. Продукционный раствор после отжатия направляется на переработку.

Вторая технология отличается от первой тем, что раствор собирается по канавам в зумпф и затем также направляется на переработку.

Наука о динамике флюидов в геологических средах является довольно непростой, Математическая структура связей может широко варьироваться для разных явлений. Но всегда эти величины должны отражать причинную обусловленность явления. Если подбирать отдельные геологические характеристики и их комбинации в соответствии с физическим подтекстом, то и на языке геологических характеристик можно дать описание, весьма близкое к причинно-следственному [1, 4, 7, 8]. Не все еще представления о роли и механике воды в геологических процессах окончательно оформились, некоторые остаются неоднозначными. В научной литературе приводится множество методик и зависимостей на одни и те же явления и процессы, практика применения которых дает иногда очень большой разброс значений. Поэтому вначале необходимо оценить и выбрать наиболее достоверные методы изучения.

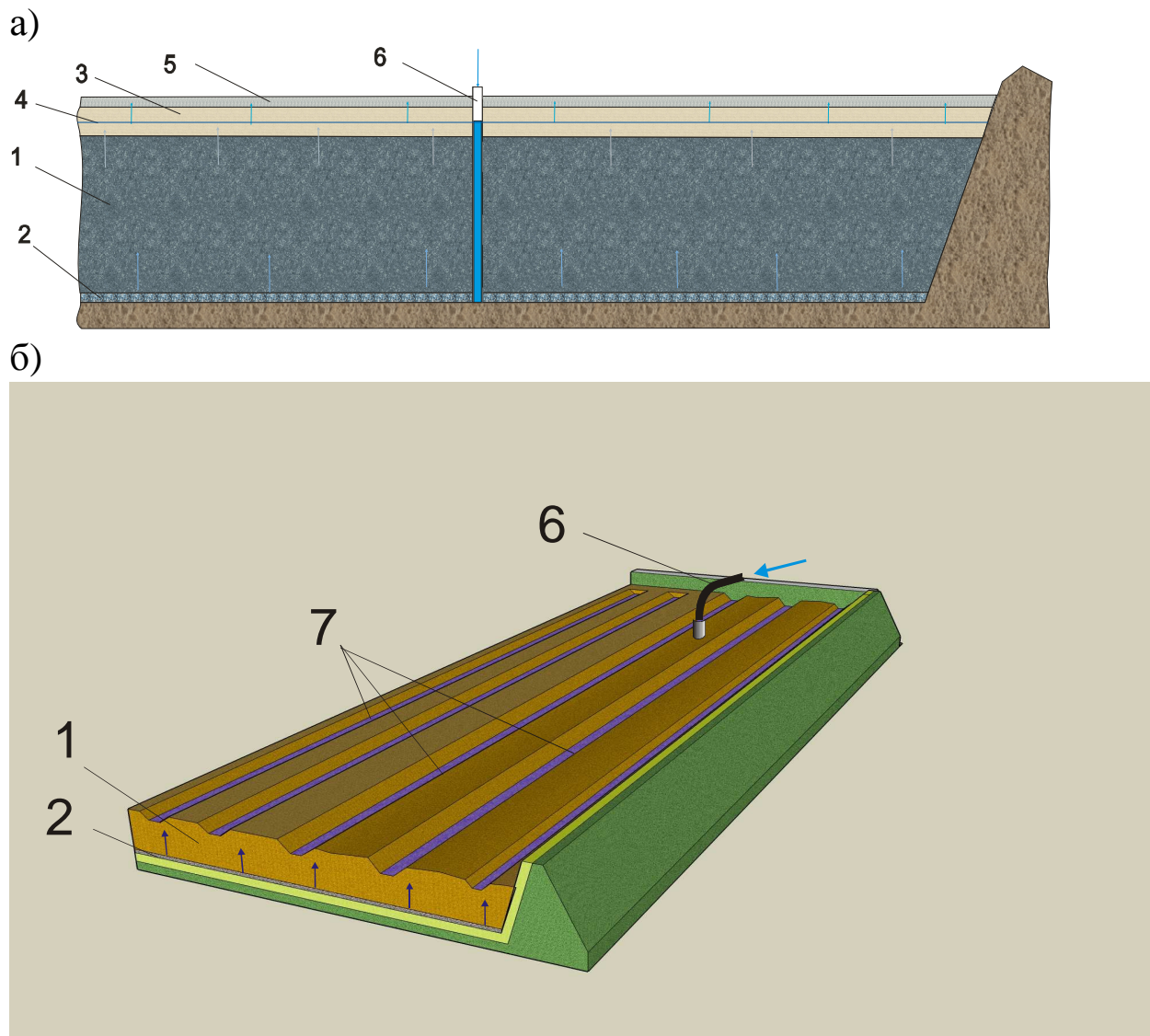


Рис. 1. Технология инфильтрационного извлечения полезных компонентов из хвостов обогащения с использованием гигроскопического слоя (а) и с применением канав (б): 1 – массив; 2 - дренажное основание; 3 - геохимический барьер; 4 - уровень заполнения; 5 - гигроскопический слой; 6 - подача растворов и поддержание уровня; 7 - каналы сбора продукционного раствора.

С целью изучения закономерностей протекания геофлюидных процессов и их параметров и физико-химических превращений в материале хвостов обогащения была создана лабораторная установка (рис. 2). К отводам присоединены гибкие трубки, через которые можно отбирать пробы контактного раствора, профильтрованного через слой твердой фазы. В качестве объекта исследования использовался материал лежалых хвостов Норильского комбината. Высота слоя материала, который был помещен в цилиндрическую

емкость, составила 86 см. В нижнюю часть колонны подается вода, высота столба воды регулируется.

Чтобы определить динамику движения подземных вод в техногенной залежи, необ-

ходимо знать емкостные параметры пород. К ним в частности относится эффективный диаметр частиц [1], слагающих реальную пористую среду, и определяемую по формуле

$$\frac{1}{d_3} = \sum_1^u \frac{g_i}{d_i}$$

где g_i – удельное содержание i -й фракции (в долях единицы от общего содержания); u – количество фракций; d_i – средний диаметр i -й фракции.

Распределение частиц по размерам для одного из отвалов лежалых пород приведено на рис. 1.

Способность породы пропускать флюиды характеризуется проницаемостью

$$k = m R^2 / 8,$$

где m – пористость пород, $m=0,259-0,476$; R – гидравлический радиус пор (радиус трубок для модели

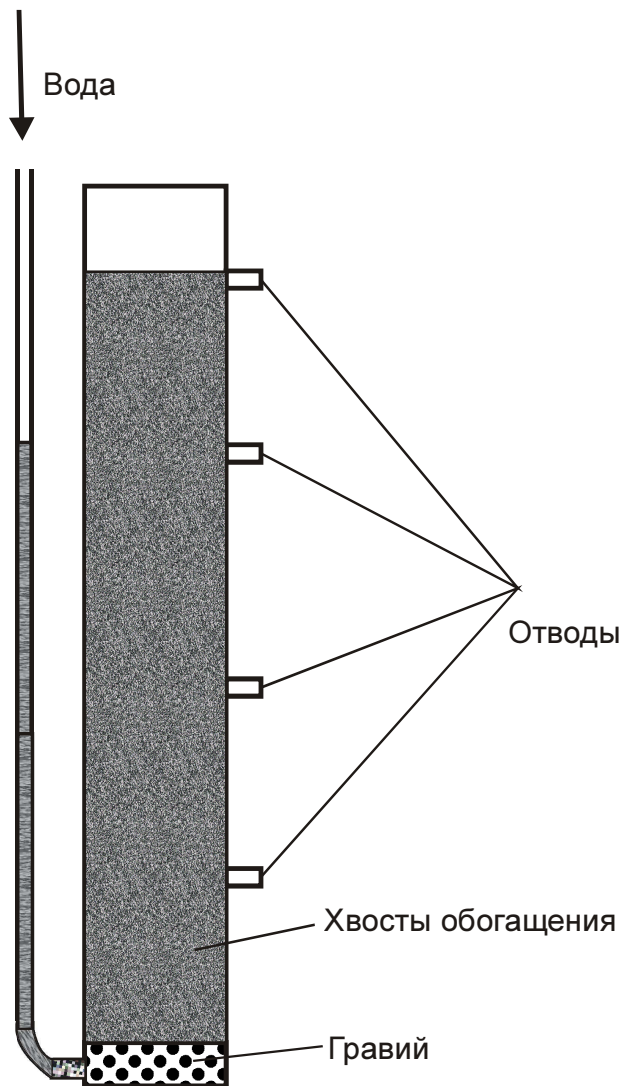


Рис. 2. Лабораторная установка

идеального грунта), мкм;

$$R = \frac{m d_3}{12(1 - m)}$$

Выше уровня основного зеркала воды в массиве находится водонасыщенный капиллярный слой. Высоту подъема флюида для капилляра можно определить по следующему выражению

$$h = \frac{2\alpha \cos \theta}{\rho g r},$$

где α – поверхностное натяжение, Дж/м²; θ – краевой угол смачивания; ρ – плотность жидкости; r – радиус капилляра, м.

Выполненные расчеты фильтрационных параметров горных пород хвостохранилища

(табл.) хорошо согласуются с данными, приведенными в различных литературных источниках.

Таблица

Емкостные параметры пород хвостохранилища

Наименование показателя	Значения показателя
Средневзвешенный диаметр зерен, мм	0,238
Эффективный диаметр частиц, мм	0,060
Гидравлический радиус, мкм	3,1
Проницаемость, дарси	0,456
Высота поднятия столба воды, м	0,498

Показателем свободной энергии грунтовой влаги является зависимость величины всасывающего давления (ψ) от влажности породы. По данным экспериментальных наблюдений зависимость всасывающего давления (ψ) от влажности может быть полу-

чена, если известно распределение влажности в капиллярной зоне при стационарном режиме и отсутствии инфильтрации. В капиллярной кайме при отсутствии питания или испарения всасывающее давление ψ равно высоте над свободной поверхностью воды. По натурным замерам получили зависимость $W(Z_0)$, где Z_0 – ордината данной точки относительно уровня грунтовых вод (гравитационной зоны). Зависимость всасывающего давления исследуемой породы от влажности (W) в зоне капиллярной каймы описывается уравнением

$$\psi = 6,8852 \cdot 10^5 \exp(-0,3928W)$$

и приведена на рис. 3. Динамика изменения соответствует данным, приведенным Пашковским И. С. [6].

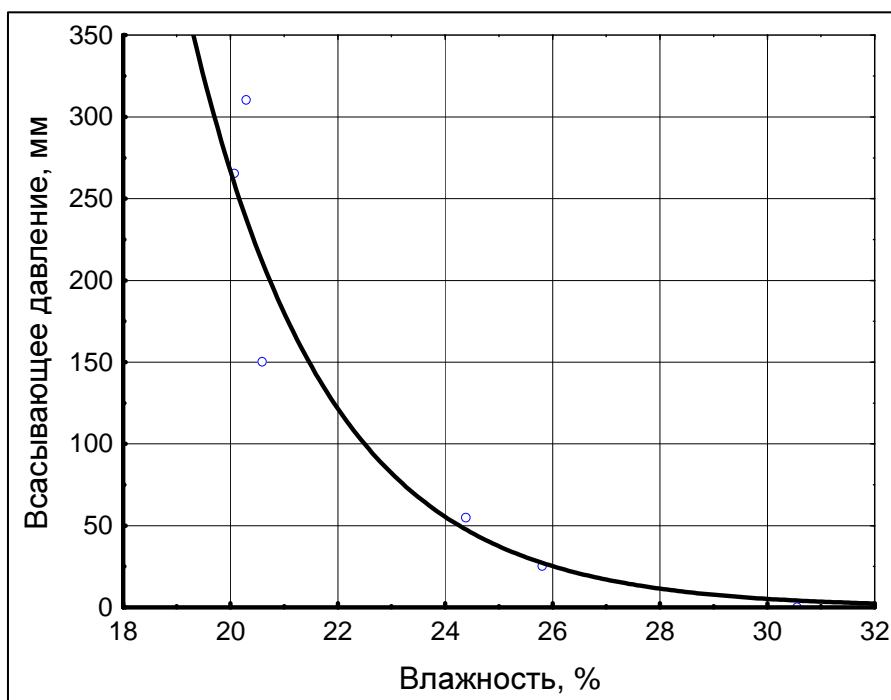


Рис. 3. Изменение всасывающего давления от влажности породы

Влагоперенос

при неполном водонасыщении можно определить также по основной гидрофизической характеристике породы, используя зависимость М. Ван Генухтена

$$\bar{\omega} = \left[1 + (\psi / h_k)^n \right]^{\left(\frac{1}{n} - 1 \right)}$$

где h_k – параметр, характеризующий высоту капиллярного подъема воды в породе; n – параметр, $n = 1,1-1,9$ [5].

Следует отметить,

что выше были рассмотрены лишь простейшие структурные модели пористых сред, для которых наиболее просто вычислить фильтрационно-емкостные характеристики с помощью геометрических и гидравлических соотношений, не привлекая стохастических и иных методов.

Нами были проведены эксперименты по изучению влагопереноса с использованием сред с различными фильтрационными характеристиками: порода хвостохранилища и гигроскопичный материал, который располагался сверху. Первый режим соответствовал уровню грунтовых вод на границе между породой и гигроскопическим материалом. Второй – уровень грунтовых вод находится ниже границы на 5 см, третий – ниже на 13 см. Высота гигроскопического слоя составляет 25 мм.

Изучался параметр водовместимости гигроскопического материала с целью возможного использования его в расчетах по геотехнологии добычи. Характер изменения удельной водовместимости от уровня грунтовых вод представлен на рис. 4.

С понижением уровня грунтовых вод высота удельная водовместимость снижается, а по мере насыщения гигроскопического материала влагой происходит снижение скорости влагонасыщения.

Предварительные расчеты показали, что в сутки на площади 1 га в микрофibre будет накапливаться 102 т раствора (на уровне гравитационной зоны), 51 т (при высоте капиллярной каймы 5 см), 23 т (при высоте капиллярной каймы 13 см).

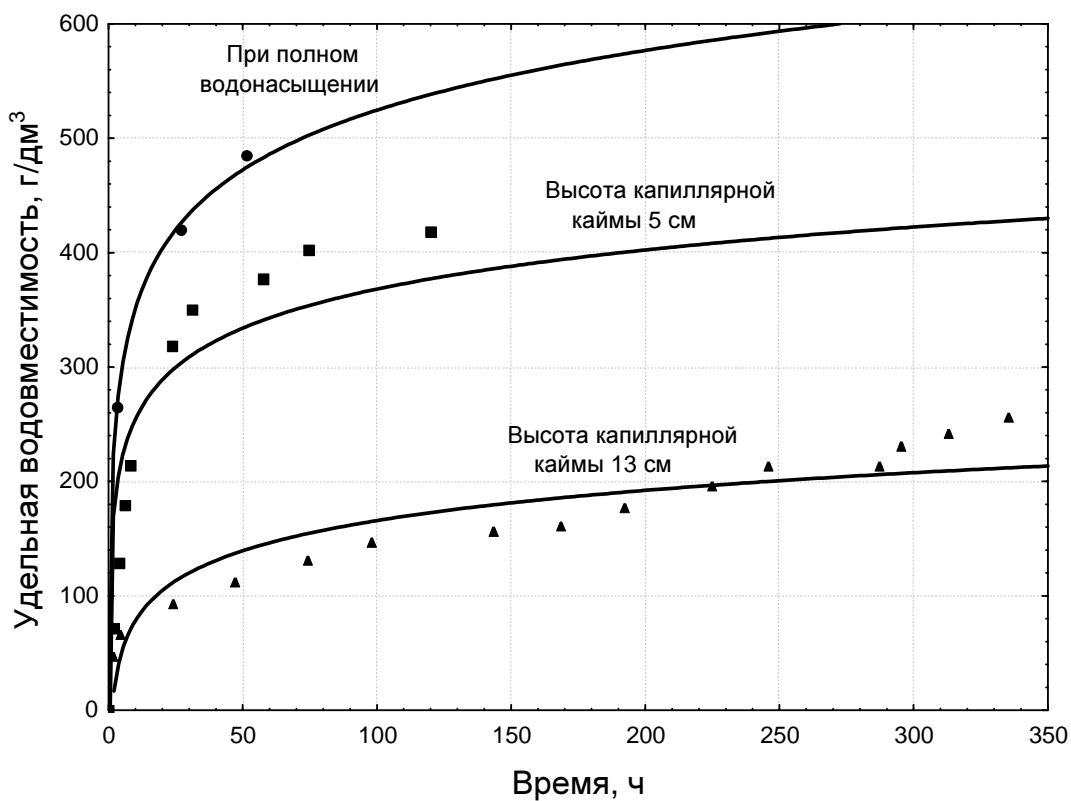


Рис. 4. Изменение удельной водовместимости гигроскопического материала для различного положения уровня грунтовых вод

С целью изучения динамики скорости фильтрации проведены режимные испытания при превышении уровня подаваемой воды относительно поверхности материала хвостов обогащения 35 мм, результаты которых приведены на рис. 5.

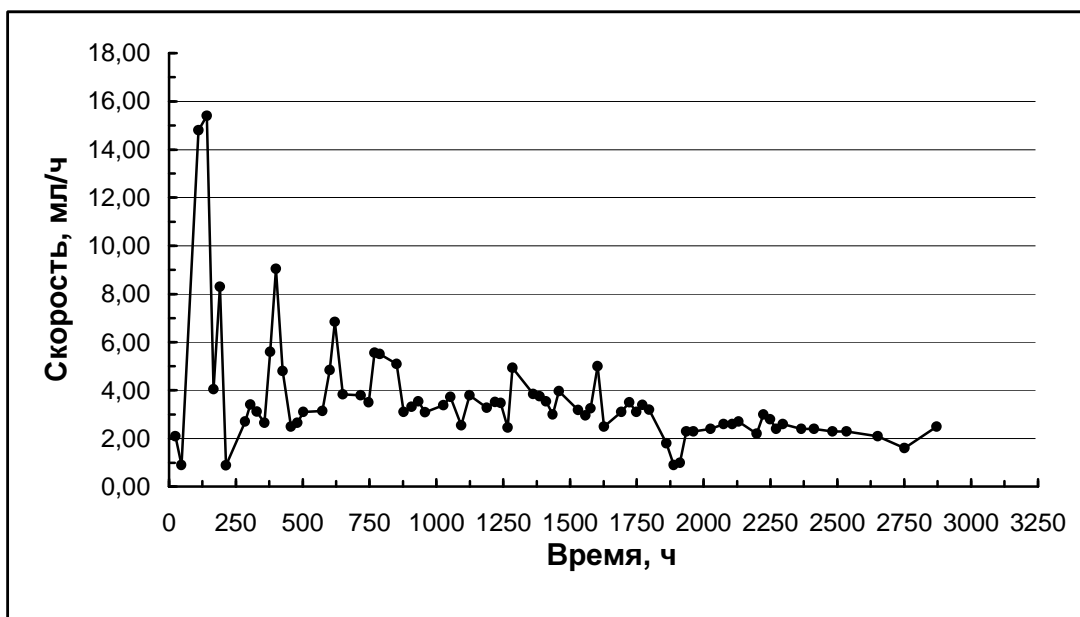


Рис.5. Динамика скорости прохождения раствора при давлении воды 35 мм

Как видно из рис.5, при небольшом напоре скорость фильтрации с течением времени снижается: в начальный период (первые 40 суток) она составляет 4,9 мл/ч, в последний период – 2,4 мл/ч. Снижение скорости фильтрации с течением времени объясняется уплотнением породы и коагуляцией пор в массиве.

Таким образом, изучены основные параметры и закономерности геофлюидных процессов в материале хвостов обогащения, с целью использования в дальнейшем в расчетах инфильтрационной технологии добычи полезных ископаемых.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

Установлено изменение удельной водовместимости гигроскопического материала при различном положении уровня грунтовых вод.

Изучена динамика скорости прохождения раствора через слой породы хвостохранилища с течением времени при малых значениях напора. Процесс стабилизируется примерно через 80 суток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Басниев Л. С., Дмитриев Н. М., Розенберг Г. Д.* Нефтегазовая динамика. – М., Ижевск, 2005. – 544 с.
2. Патент РФ № 2395683/13, 27.07.2010.
Михайлов А. Г., Вашлаев И. И., Вишневский П. С. Способ Геотехнологической разработки месторождения.
3. *Макаров В. А.* Благородные металлы техногенных минеральных объектов Сибирского региона: Ресурсы и проблемы геолого-технологической оценки // Цветные металлы Сибири–2009: Сб. докл. первого международного конгресса. – Красноярск, 2009. С. 37-45.
4. *Мейнцер О. Э.* Учение о подземных водах. – Л.;М.: Главная редакция геологоразведочной и геодезической литературы, 1935. – 242 с.
5. *Мироненко В. А.* Динамика подземных вод: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1983. – 357 с.
6. *Пашковский И. С.* Методы инфильтрационного питания по расчетам влагопереноса в зоне аэрации. – М.: Московский университет, 1973. – 119 с.
7. *Шестаков В. М.* Гидрогеодинамика. – М.: МГУ, 1995. – 368 с.
8. *Чепмен Р. Е.* Геология и вода. Введение в механику флюидов для геологов: Пер. с англ. – Л.: Недра, 1983. – 159 с.

Рецензенты:

Брагин В.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск.

Гилев А.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск.

Работа получена 22.09.2011.