

**М. Б. ҚҰРМАНСЕЙІТ^{1,2*}, К. Ш. УЗБЕКАЛИЕВ²,
М. С. ТУНГАТАРОВА^{1,2}, К. А. АЛИБАЕВА², А. КАЛТАЕВ^{1,2}**

¹Сатпаев университет, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ БАЛАНСА РАСТВОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БЛОКОВ, РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ПОДЗЕМНЫМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ, НА ОСНОВЕ ЛИНИЙ ТОКА

Метод подземного выщелачивания – способ разработки низкоконцентратных месторождений руд, залегающих в проницаемых породах путем закачки раствора в пласт через закачные скважины, растворения минерала на месте залегания и откачки продуктивного раствора на поверхность через сеть откачных скважин. При разработке месторождение разделяется на технологические блоки, разработка в которых может проходить независимо друг от друга. Для повышения экологичности работ и предотвращения растекания растворов за границы блока соблюдается баланс растворов, т.е. объемы закачанного выщелачивающего и откачанного продуктивного раствора должны быть равны. В связи с чем возникает вопрос расчета дебитов на закачных скважинах в смежных блоках. В настоящее время распределение по технологическим блокам дебитов закачных скважин в смежных блоках рассчитываются осреднением взаимодействующих с данной скважиной откачных скважин. Однако точность данного расчета достаточно низкая, так как не учитывает как свойств пласта, так и расстояний между скважинами. В связи с чем, в настоящей работе предложено рассчитывать дебиты скважин на основе моделирования с использованием линий тока, основанное на фундаментальных законах сохранения и движения раствора в породе. Предложенная методика позволяет учитывать направление потока раствора и фильтрационные свойства породы.

Ключевые слова: подземное выщелачивание, моделирование на основе линий тока, баланс растворов, закачная и откачная скважины, дебит скважины.

Введение. Подземное выщелачивание является способом разработки рудных месторождений без поднятия руды на поверхность. Он осуществляется подачей выщелачивающего раствора непосредственно в недра через сеть закачных скважин, подъем продуктивного раствора, содержащего растворенный полезный компонент, на поверхность откачными скважинами [1-4]. За счет использования систем скважин метод подземного выщелачивания обеспечивает возможность постепенной разработки путем разделения месторождения на технологические блоки и разработки блоками [5]. Для обеспечения экологичности процесса и предотвращения растекания раствора за границы блока накладывается условия баланса растворов, т.е. общий объем закачанного выщелачивающего раствора должен быть равен объему откачанного по каждому блоку [6]:

$$\sum_{time} \left[\sum_{i=1}^{N_{mj}} Q_i(t) + \sum_{p=1}^{N_{pr}} Q_p(t) \right] = 0 \quad (1)$$

* E-mail корреспондирующего автора: kurmanseiit.maksat@gmail.com

где Q – дебит скважин, N_{inj} и N_{pr} – количество закачных и откачных скважин соответственно.

Соблюдение баланса растворов позволяет максимально локализовать циркуляцию растворов в пределах блока и тем самым предотвратить как разубоживания продуктивных растворов, так растекания за пределы блока. Однако при работе смежных блоков соблюдение баланса усложняется за счет возможного неравномерного перетока раствора из блока в блок, связанного с неоднородностью породы.

Рассмотрим методику подсчета баланса растворов, применяемую на предприятиях Казатомпрома, на следующем примере. Рассмотрим область месторождения с двумя смежными блоками (Рисунок 1), где синими точками обозначены откачные, а красными – закачные скважины. В двух смежных блоках соблюдается суммарный баланс растворов (1), при этом закачные скважины на границах блока I1, I2, I3 работают на два блока одновременно.

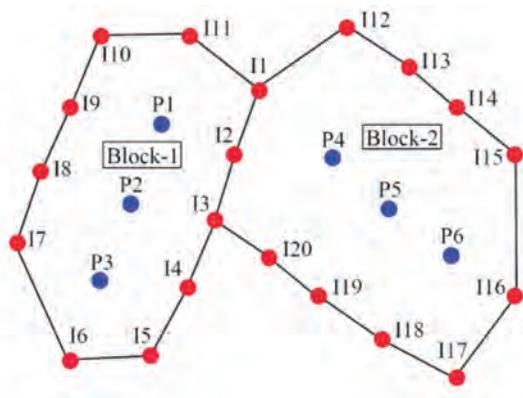


Рисунок 1 – Показан участок месторождения с двумя блоками, где синим обозначены откачные, красным – закачные скважины.

На схеме видно, что от закачных скважин I1 и I2 раствор течет к откачным скважинам P1 и P4, от скважины I3 к скважинам P2 и P4. Следовательно, дебиты на данных закачных скважинах распределяются между двумя блоками [6]:

$$\begin{aligned}
 I1: \quad \lambda_{1,1} &= \frac{Q_{p1}}{Q_{p1} + Q_{p4}}; \lambda_{1,2} = \frac{Q_{p4}}{Q_{p1} + Q_{p4}}; \\
 I2: \quad \lambda_{2,1} &= \frac{Q_{p1}}{Q_{p1} + Q_{p4}}; \lambda_{2,2} = \frac{Q_{p4}}{Q_{p1} + Q_{p4}}; \\
 I3: \quad \lambda_{3,1} &= \frac{Q_{p2}}{Q_{p2} + Q_{p4}}; \lambda_{3,2} = \frac{Q_{p4}}{Q_{p2} + Q_{p4}};
 \end{aligned} \tag{2}$$

где $\lambda_{i,j}$ доля дебита i -ой закачной скважины, приходящейся на блок j .

Использование весового коэффициента позволяет учитывать только влияние дебитов откачных скважин на закачные, т.е. не учитывает проницаемость породы и расстояний между скважинами. Используя (1), вычислим баланс дебитов для каждого

блока отдельно с учетом весового коэффициента для закачных скважин (2) на смежных блоках. В таблице 1 приведены значения дебитов на откачных и закачных скважинах, весовой коэффициент в виде доли (%) дебита закачных скважин в каждом из блоков. Используя данные с таблицы 1, рассчитан баланс по растворам, который показывает на несоблюдение баланса в каждом из блоков (2) при соблюдении общего баланса (1).

Таблица 1 – Баланс кислотности для блоков 1 и 2, рассчитанный методом [61]

Блок-1				Блок-2			
Номер скважины	Доля, [%]	Заданный дебит, [м3/час]	Вычисленный дебит, [м3/час]	Номер скважины	Доля, [%]	Заданный дебит, [м3/час]	Вычисленный дебит, [м3/час]
I1	50	5,23	2,61	I1	50	5,23	2,61
I2	50	5,23	2,61	I2	50	5,23	2,61
I3	50	5,23	2,61	I3	50	5,23	2,61
I4	100	2,73	2,73	I12	100	2,50	2,50
I5	100	2,73	2,73	I13	100	2,50	2,50
I6	100	2,73	2,73	I14	100	2,50	2,50
I7	100	2,73	2,73	I15	100	2,50	2,50
I8	100	2,73	2,73	I16	100	2,50	2,50
I9	100	2,73	2,73	I17	100	2,50	2,50
I10	100	2,73	2,73	I18	100	2,50	2,50
I11	100	2,73	2,73	I19	100	2,50	2,50
P1		-10,00	-10,00	I20	100	2,50	2,50
P2		-10,00	-10,00	P4		-10,00	-10,00
P3		-10,00	-10,00	P5		-10,00	-10,00
				P6		-10,00	-10,00
Итого			-0,34	Итого			0,34

$$\text{Блок 1: } \sum_{time} \left[\sum_{i=1}^{n_{inj}} \lambda_{i,1} Q_i(t) + \sum_{p=1}^{n_{pr}} Q_p(t) \right] < 0 \quad (3.1)$$

$$\text{Блок 2: } \sum_{time} \left[\sum_{i=1}^{m_{inj}} \lambda_{i,2} Q_i(t) + \sum_{p=1}^{m_{pr}} Q_p(t) \right] > 0 \quad (3.2)$$

Таким образом, метод подсчета баланса кислотности [6] не учитывает неоднородность породы, расстояний между скважинами. Кроме того, данный метод сложно использовать для некоторых скважин, к примеру, скважину I3. Остается неясным, между какими скважинами распределяется поток от скважины I3, а также влияет ли скважина I3 на скважину P1.

Проведение детального моделирования течения раствора в пласте позволит не только определить соблюдение баланса растворов, но и учесть неоднородное распределение проницаемости породы и расстояния между скважинами.

Метод исследования. Для учета неоднородности пласта, расстояния между скважинами и других характеристик необходимо проведение детального моделирования процесса добычи урана. Модель, описывающая процесс фильтрации раствора в пласте, имеет следующий вид [7, 8]:

$$\operatorname{div}(K_f \cdot \mathbf{grad}(H)) = \sum_{i=1}^{N_{inj}} \delta(x - x_i, y - y_i) Q_i(t) + \sum_{p=1}^{N_{pr}} \delta(x - x_p, y - y_p) Q_p(t) \quad (4)$$

$$\phi \vec{u} = -K_f \mathbf{grad}(H) \quad (5)$$

где K_f – коэффициент фильтрации породы, H – гидравлический напор, Q_i – дебит i -ой закачной скважины ($Q_i \geq 0$), Q_p – дебит p -ой откачной скважины ($Q_p \leq 0$), N_{inj} и N_{pr} – количество закачных и откачных скважин соответственно, $\phi \vec{u}$ – скорость Дарси, ϕ – пористость среды. В расчетах принималось, что коэффициент фильтрации $K_f = 7.0 \text{ m.day}^{-1}$, пористость $\phi = 0.22$ [9].

На рисунке 2 показана расчетная область, покрытая сеткой. Уравнение (4) решается итерационным методом, далее, по найденному значению гидравлического напора из закона Дарси (5) определяется поле скоростей. По известному полю скоростей методом Поллока [10 - 12] вычисляется ток хода и выхода линии тока и время пролета Δt в каждой ячейке (Рисунок 3, 1), при этом точка выхода из одной ячейки является точкой входа для следующей (Рисунок 3, 2).

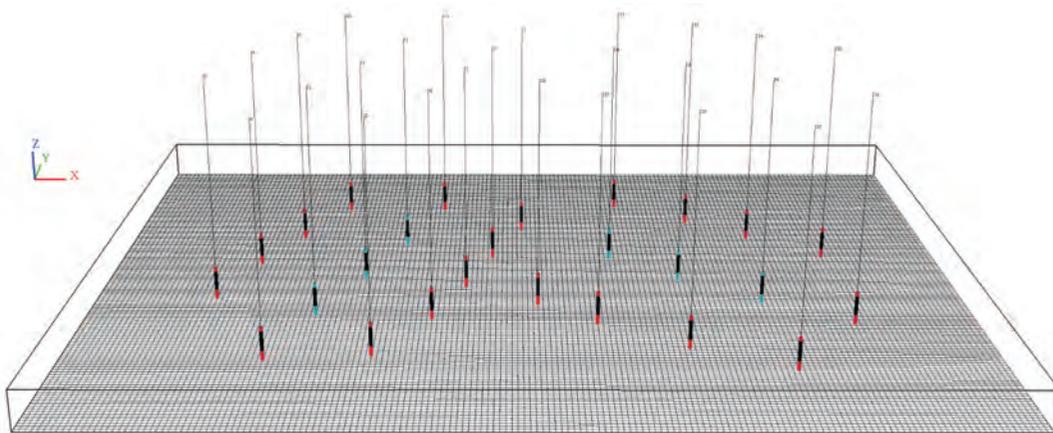


Рисунок 2 – Расчетная область

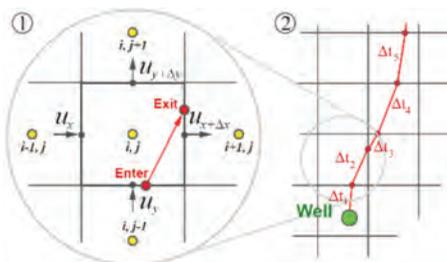


Рисунок 3 – Схематическое представление построения линий тока

Результаты и их обсуждение. На рисунке 4 показано распределение линий тока раствора под действием сети скважин в пласте, где линии тока каждой закачной скважины отличаются цветом. Таким образом, линии тока не только наглядно показывают движение раствора в пласте, но и позволяют посчитать распределение дебитов закачных скважин между откачными.

Соответственно, по найденному распределению линий тока можно вычислить распределение баланса дебитов между скважинами (Рисунок 5). В расчетах для наглядности в плане в каждой из закачных скважин запускалось по 100 линий тока. Цвет линии тока также определяет скважину, с которой растекается раствор, цифры на линиях тока указывают количество линий тока, достигших соответствующую откачную скважину из заданной закачной. Расчеты показывают, что фактически взаимовлияние скважин не ограничивается только соседними. Например, раствор из скважины I20 распределился с следующих пропорциях: 53, 34 и 9 между скважинами P2, P4 и P5 соответственно. Кроме того, сумма линий тока не достигает исходного значения, что говорит о растекании раствора за границы блока, так как отражены только линии тока, достигшие откачной скважины. Таким образом, рассмотрение только смежных скважин между различными блоками не отражает баланс кислотности, так как наблюдается растекание раствора в пласт.

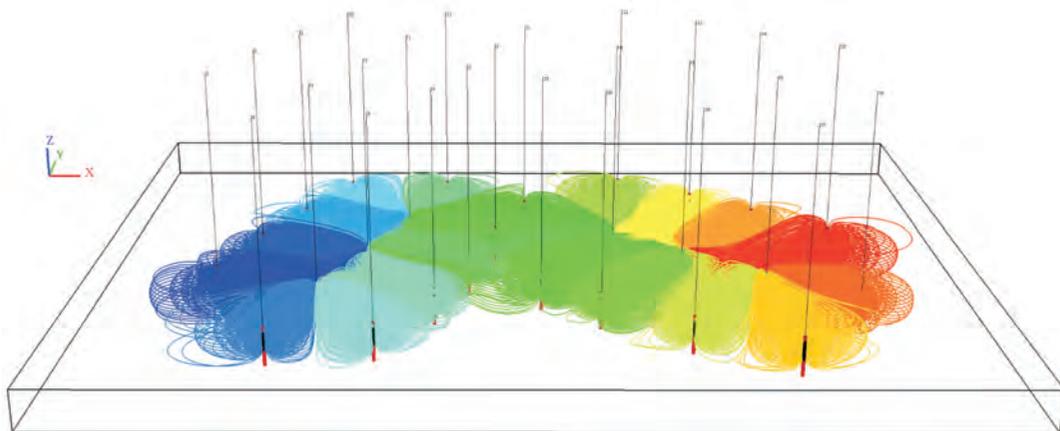


Рисунок 4 – 3D распределение линий тока раствора под действием сети скважин

Данные для расчета и результаты баланса кислотности для обоих блоков, рассчитанные на основе линий тока, приведены в таблице 2. Доли дебитов в блоках, рассчитанные для каждой закачной скважины, рассчитывались по распределению линий тока из этой скважины между блоками. Расчеты показывают, что методика равномерного распределения дебитов между скважинами не отражает реальной картины.

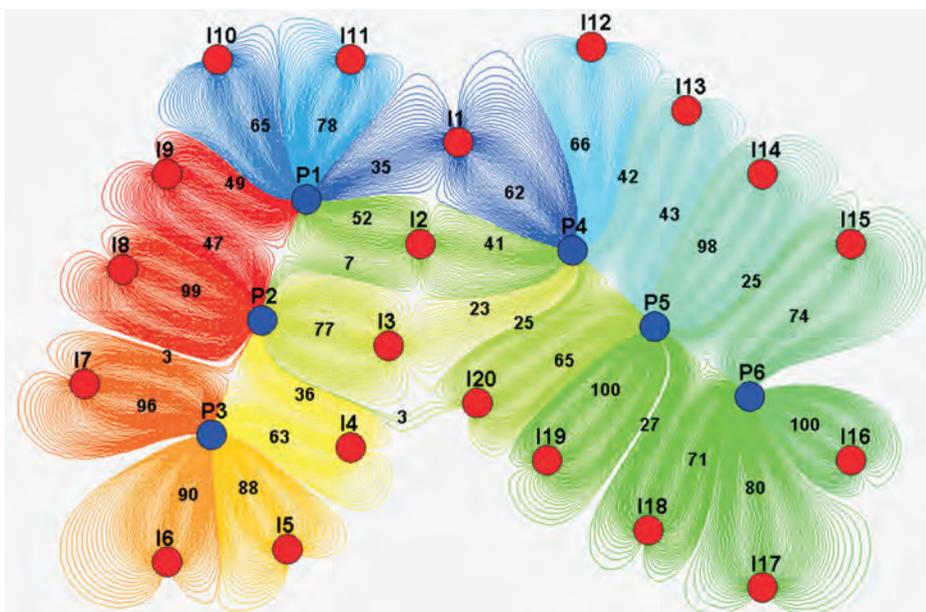


Рисунок 5 – Распределение линий тока в пласте под действие сети скважин (вид сверху)

В рассмотренном ранее расчете баланса дебиты всех закачных скважин, расположенных на границе блоков, рассматривались как равномерно распределенными между откачными скважинами обоих блоков. Если рассмотреть распределение дебитов между блоками для всех закачных скважин на границе, то видно, что это правило не выполняется. Так, дебит закачной скважины I1 на 97% поступает в откачные скважины, на скважине I3 на 99% поступает в откачные скважины P1, P2 и P4, в то время как при методике расчета, через пропорциональное распределение учитываются только 2 откачные скважины. Такая же картина наблюдается на большинстве остальных закачных скважинах, что говорит о растекании раствора за границы блока. Кроме того, переток раствора может быть не только на скважинах на границах смежных блоков, так 9% раствора из скважины I20 из блока 2 перетекает в блок 1.

Таблица 2 – Баланс кислотности для блоков 1 и 2, рассчитанный методом на основе линий тока

Блок-1				Блок-2			
Номер скважины	Доля, [%]	Заданный дебит, [м3/час]	Вычисленный дебит, [м3/час]	Номер скважины	Доля, [%]	Заданный дебит, [м3/час]	Вычисленный дебит, [м3/час]
1	2	3	4	5	6	7	8
I1	35	5,23	1,83	I1	62	5,23	3,24
I2	59	5,23	3,08	I2	41	5,23	2,14
I3	77	5,23	4,03	I3	23	5,23	1,20
I4	99	2,73	2,70	I12	66	2,50	1,65

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
I5	88	2,73	2,40	I13	85	2,50	2,18
I6	90	2,73	2,45	I14	98	2,50	2,45
I7	99	2,73	2,70	I15	99	2,50	2,48
I8	99	2,73	2,70	I16	100	2,50	2,50
I9	96	2,73	2,62	I17	80	2,50	2,00
I10	65	2,73	1,77	I18	98	2,50	2,45
I11	78	2,73	2,13	I19	100	2,50	2,50
I20	3	2,50	0,08	I20	90	2,50	2,25
P1		-10,00	-10,00	P4		-10,00	-10,00
P2		-10,00	-10,00	P5		-10,00	-10,00
P3		-10,00	-10,00	P6		-10,00	-10,00
Итого			-1,51	Итого			-3,01

Заключение. В настоящей работе предложен метод на основе линий тока для расчета баланса кислотности при добыче минерала методом подземного выщелачивания. Предложенный метод использует детальное моделирование процесса фильтрации раствора в пласте, в основе которого лежат законы сохранения массы и Дарси, что позволяет учитывать как неоднородность проницаемости пласта, так и влияние расстояний между скважинами. На примере двух смежных блоков с линейным распределением скважин показано, что соблюдение баланса кислотности на двух блоках не гарантирует соблюдение баланса для каждого из боков. Существующая методика не позволяет учитывать растекание раствора за границы блока.

Таким образом, преимуществами предложенного метода по сравнению с используемым на практике, являются учет неоднородности пласта, расстояний между скважинами, а также расчет распределения дебитов закачных скважин между откачными скважинами за счет гидродинамики процесса.

Другим важным преимуществом предложенного метода является возможность учета растекания раствора за границы технологического блока, что имеет отрицательное экологическое последствие, а кроме того, негативно влияет на экономические показатели отработки блока.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Комитета науки Министерства образования и науки РК в рамках проекта грантового финансирования AP09260105.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Uranium 2020: Resources, Production and Demand. OECD Publishing, 2020, NEA #7551.
- 2 Бойцов А.В., Живов В.Л., Шумилин М.В. Уран: геология, добыча, экономика. – М.: Атомиздат, 2012. – С. 304 [Boyctsov A.V., Zhivov V.L., Shumilin M.V. Uran: geologiya, dobycha, ekonomika. – М.: Atomizdat, 2012. – 304 p.]

3 Громов, Б.В. Введение в химическую технологию урана [Vvedenie v himicheskuyu tehnologiyu urana]. – М.: Атомиздат, 1978, С. 326

4 Бровин К.Г., Грабовников В.А., Шумилин М.В., Язиков М.В. Прогноз, поиски, разведка и промышленная оценка месторождений урана для отработки подземным выщелачиванием [Brovina, K.G.; Grabovnikov, V.A.; Shumilin, M.V.; Yazikov, V. G., Prognoz, poiski, razvedka i promyshlennaya ocenka mestorozhdeniy urana dlya otrabotki podzemnym vyshchelachivaniem], Алматы.: Галым, Kazakhstan, 1997, С. 384

5 Seredkin, M.; Zabolotsky, A.; Jeffress, G. In situ recovery, an alternative to conventional methods of mining: Exploration, resource estimation, environmental issues, project evaluation and economics. *Ore Geology Reviews* 2016, 79, 500-514. doi:10.1016/j.oregeorev.2016.06.016

6 Поезжаев И.П., Полиновский К.Д., Горбатенко О.А., Панова Е.Н., Буленова К.З., и др. Геотехнология урана. Учебное пособие [Poezhaev, I.P.; Polynovsky, K.D.; Gorbatenko, O.A.; Panova, E.N.; Bulenova, K.Z. i dr., Geotekhnologiya urana], Алматы. - 2017, С. 319

7 Данаев Н.Т., Корсакова Н.К., Пеньковский В.И. Массоперенос в прискважинной зоне и электромагнитный каротаж пласта [Danayev N.T., Korsakova N.K., Pen'kovskiy V.I. Massopereenos v priskvazhinnoy zone i elektromagnitnyy karotazh plasta] . – Алматы: Казак университеті, 2005. – С. 180

8 Acosta J.L.; Camacho, A.F., Porous media: Heat and mass transfer, transport and mechanics. Nova Science Publishers, Inc. New York, 2009, ISBN 978-1-60741-401-8 (E-Book)

9 Патрин А.П., Забазнов В.Л., Чистилин П.Е. Основные результаты натурного полевого эксперимента по ПСВ урана на площадке №2 Буденовского месторождения. – Сборник трудов V Межд. Научно-практ. Конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности», Алматы, 19 – 20 сентября 2008. – С. 198-204 [Patrin, A.P.; Zabaznov, V.L.; Chistilin, P.E., The main results of a full-scale field experiment on the ISL of Uranium at site №2 of the Budenovskoye deposit. In Proc. of the Vth Int. Conf. “Actual Problems of the Uranium Industry” (p. 198-204), Almaty, Kazakhstan, 19-20.09. 2008.]

10 Akhil Datta-Gupta, Michael J. King Streamline simulation: Theory and Practice. - Society of Petroleum Engineers, 2007. - 397 P.

11 Pollock, D. W. (1988) “Semi-analytical Computation of Path Line for Finite Difference Models” *Ground Water* 26(6): 743-750

12 A. Kuljabekov, “Model of chemical leaching with gypsum sedimentation in porous media,” PhD Thesis, Univ. Lorraine, Nancy, France & Al Farabi Almaty, Kazakhstan, 2014, 99p.

REFERENCES

1 Uranium 2020: Resources, Production and Demand. OECD Publishing, 2020, NEA #7551.

2 Boycov A.V., Zhivov V.L., Shumilin M.V. Uran: geologiya, dobycha, ekonomika. – М.: Atomizdat, 2012. – С. 304 [Boytsov A.V., Zhivov V.L., Shumilin M.V. Uran: geologiya, dobycha, ekonomika. – М.: Atomizdat, 2012. – 304 p.]

3 Gromov, B.V. Vvedenie v himicheskuyu tekhnologiyu urana [Vvedenie v himicheskuyu tehnologiyu urana]. – М.: Atomizdat, 1978, S. 326

4 Brovin K.G., Grabovnikov V.A., Shumilin M.V., Yazikov M.V. Prognoz, poiski, razvedka i promyshlennaya ocenka mestorozhdeniy urana dlya otrabotki podzemnym vyshchelachivaniem [Brovina, K.G.; Grabovnikov, V.A.; Shumilin, M.V.; Yazikov, V. G., Prognoz, poiski, razvedka i promyshlennaya ocenka mestorozhdeniy urana dlya otrabotki podzemnym vyshchelachivaniem], Алматы.: Galym, Kazakhstan, 1997, S. 384

5 Seredkin, M.; Zabolotsky, A.; Jeffress, G. In situ recovery, an alternative to conventional methods of mining: Exploration, resource estimation, environmental issues, project evaluation and economics. *Ore Geology Reviews* 2016, 79, 500-514. doi:10.1016/j.oregeorev.2016.06.016

6 Poezhaev I.P., Polinovskij K.D., Gorbatenko O.A., Panova E.N., Bulenova K.Z., i dr. Geotekhnologiya urana. Uchebnoe posobie [Poezhaev, I.P.; Polynovsky, K.D.; Gorbatenko, O.A.; Panova, E.N.; Bulenova, K.Z. i dr., Geotekhnologiya urana], Almaty. - 2017, S. 319

7 Danaev N.T., Korsakova N.K., Pen'kovskij V.I. Massoperenos v priskvazhinnoj zone i elektromagnitnyj karrotazh plasta [Danayev N.T., Korsakova N.K., Pen'kovskiy V.I. Massoperenos v priskvazhinnoj zone i elektromagnitnyy karrotazh plasta] . – Almaty: Kazak universiteti, 2005. – S. 180

8 Acosta J.L.; Camacho, A.F., Porous media: Heat and mass transfer, transport and mechanics. Nova Science Publishers, Inc. New York, 2009, ISBN 978-1-60741-401-8 (E-Book)

9 Patrin A.P., ZAbaznov V.L., CHistilin P.E. Osnovnye rezultaty naturnogo polevogo eksperimenta po PSV urana na ploshchadke №2 Budenovskogo mestorozhdeniya. – Sbornik trudov V Mezhd. Nauchno-prakt. Konferencii «Aktual'nye problemy uranovoj promyshlennosti», Almaty, 19 – 20 sentyabrya 2008. – S. 198-204 [Patrin, A.P.; Zabaznov, V.L.; Chistilin, P.E., The main results of a full-scale field experiment on the ISL of Uranium at site №2 of the Budenovskoye deposit. In Proc. of the Vth Int. Conf. “Actual Problems of the Uranium Industry” (p. 198-204), Almaty, Kazakhstan, 19-20.09. 2008.]

10 Akhil Datta-Gupta, Michael J. King Streamline simulation: Theory and Practice. - Society of Petroleum Engineers, 2007. - 397 P.

11 Pollock, D. W. (1988) “Semi-analytical Computation of Path Line for Finite Difference Models” Ground Water 26(6): 743-750

12 A. Kuljabekov, «Model of chemical leaching with gypsum sedimentation in porous media,» PhD Thesis, Univ. Lorraine, Nancy, France & Al Farabi Almaty, Kazakhstan, 2014, 99p.

**М. Б. ҚҰРМАНСЕЙІТ^{1,2}, К.Ш. УЗБЕКАЛИЕВ², М. С. ТУНГАТАРОВА^{1,2},
К. А. АЛИБАЕВА², А. КАЛТАЕВ^{1,2}**

¹Сатпаев университеті, Алматы, Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университет, Алматы, Қазақстан

АҒЫН СЫЗЫҚТАРЫ НЕГІЗІНДЕ ЖЕРАСТЫ ШАЙМАЛАУ ӘДІСІМЕН ӨНДІРЕЛЕТІН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БЛОКТАРДЫҢ ЕРІТІНДІЛЕРІНІҢ ҚЫШҚЫЛДЫҚ ТЕҢГЕРІМІН АНЫҚТАУ ӘДІСТЕМЕСІ

Жерасты шаймалау әдісі – айдау ұңғымалары арқылы қабатқа ерітінді енгізу, минералды жерасты еріту және өнімді ерітіндіні өндіру ұңғымалары желісі арқылы жер бетіне шығару арқылы өткізгіш жыныстарда кездесетін төмен концентрациялы кен шөгінділерін игеру әдісі. Өндіру барысында кен орны технологиялық блоктарға бөлінеді, блоктардың өңдеуі бір бірінен тәуелсіз болу мүмкін. Жұмыстың экологиялық тазалығын арттыру және ерітінділердің блок шекарасынан тыс таралуын болдырмау үшін ерітінділердің теңгерімі болуы қажет, яғни енгізілетін сілтісіздендіру және өндірілетін өнімді ерітіндінің көлемі тең болуы керек. Осыған байланысты іргелес блоктардағы айдау ұңғымаларында дебиттерді есептеу мәселесі туындайды. Қазіргі уақытта іргелес блоктардағы айдау ұңғымаларының дебиттерін технологиялық блоктар бойынша үлестірімі берілген ұңғымамен әрекеттесетін өндіруші ұңғымаларды орташалау арқылы есептеледі. Дегенмен, бұл есептеудің дәлдігі айтарлықтай төмен, өйткені ол қабаттың қасиеттерін де, ұңғымалардың арасындағы қашықтықты да ескермейді. Осыған байланысты бұл жұмыста тау жыныстарындағы ерітінділердің сақталуы мен қозғалысының

іргелі заңдылықтарына сүйене отырып, ағын сызықтарын пайдалана отырып модельдеу негізінде ұңғыма дебиттерін есептеу ұсынылады. Осылайша, ұсынылған әдістеме ерiтiндi ағынының бағытын және жыныстың фильтрациялық қасиеттерiн ескеруге мүмкiндiк бередi.

Түйiн сөздер: жер асты шаймалау, ағын сызықтары негiзiнде модельдеу, ерiтiндi балансы, айдау және өндiру ұңғымалары, ұңғыманың дебитi.

**M. B. KURMANSEIT^{1,2}, K. SH. UZBEKALIYEV², M. S. TUNGATAROVA^{1,2},
K. A. ALIBAYEVA², A. KALTAYEV^{1,2}**

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

STREAMLINES BASED METHODOLOGY FOR DETERMINING THE ACIDITY BALANCE OF SOLUTIONS OF TECHNOLOGICAL BLOCKS DEVELOPED BY IN-SITU LEACHING

The in-situ leaching is a method of developing low-concentration ore deposits occurring in permeable rocks by pumping a leaching solution into the reservoir through injection wells, which dissolve the mineral in situ and pumping the productive solution to the surface through pumping wells. During development, the deposit is divided into technological blocks; developments of each block could be independent from others. To improve the environmental friendliness of work and prevent the spreading of solutions beyond the boundaries of the block, a balance of solutions is observed, i.e. the volumes of injected leaching and pumped out productive solution should be equal. In this connection, the question arises of calculating flow rates at injection wells in adjacent blocks. Currently, the distribution of flow rates of injection wells in adjacent technological blocks is calculated by averaging the extraction wells interacting with a given well. However, the accuracy of this calculation is quite low, since it does not take into account both the reservoir properties and the distances between wells. In this connection, in this paper, it is proposed to calculate well flow rates based on modeling, based on the fundamental laws using streamlines. Thus, the proposed technique makes it possible to take into account the direction of the flow of the solution and the filtration properties of the rock.

Key words: In-Situ leaching; streamline simulation; solution balance; injection and production well; flow rate.