

1. Построение первичной цифровой модели поверхности, включающее выбор метода интерполяции из существующих 13 и настройка его характеристик, оптимизация вариограммы изменение координатных пределов, количества узлов моделируемой сетки (Number of nodes), максимальных, минимальных значений параметра Z и др. (при необходимости);

2. Вспомогательные операции над уже полученной цифровой моделью (прямоугольной регулярной сеткой) с учетом ее статистического отчета (Grid Info);

3. Визуализация поверхности - наиболее детальный и важный этап работы, как правило, состоящий из построения контурной карты в изолиниях (Contour Map) и её оптимизации (настройки степени сглаживания (Smoothing), сечения изолиний (Contour Levels), графических характеристик (Fill Contours, Labels, Color scale и др.). Иногда на этом этапе нами был проведен дополнительный анализ аномальных значений геохимических параметров, проверка их достоверности и уже при необходимости удаление статистически неоправданных значений, что безусловно приводило к итерациям этапа визуализации. Также к этому этапу можно отнести 3D визуализацию и последующую её оптимизацию.

Выводы.

Таким образом, программное обеспечение Golden Software Surfer позволяет учитывать особенности картографического моделирования гидрогеохимических условий, и быстро и качественно решать его задачи.

С помощью разнообразия, многофункциональности и регулируемости функций построения и визуализации цифрового моделирования поверхности мы получаем достоверный и эстетичный продукт картографирования. А с применением вариантов наложения этих многочисленных видов карт различных параметров (в нашем случае это более 30 для каждого водоносного горизонта), их вариативного расположения на одной странице можно получить самые интересные варианты представления сложных гидрогеохимических условий.

*Настоящее исследование было выполнено при финансовой поддержке Государственного научно-исследовательского проекта Республики Молдова № 20.80009.7007.26.*

#### Литература

1. Добраца В.П., Горюшкин Е.И., Иванова Т.В. Совершенствование метода обработки геологических данных с помощью применения программы Surfer на примере моделирования геохимической карты. – Известия Юго-Западного государственного университета. –Том 23, № 5 –Курск., 2019.
2. Иванова И.А., Чеканцев В.А. Решение геологических задач с применением программного пакета Surfer. – Издательство Томского Политехнического Университета. –Томск, 2008. –92 с.
3. Морару К.Е., Тимошенкова А.Н. «Оценка точности компьютерных карт уровней подземных вод: применение различных методов интерполяции, Республика Молдова. Материалы второй научной конференции «Комплексные проблемы гидрогеологии», посвященной 125-летию со дня рождения Б. Л. Личкова. –Санкт- Петербург, 2013.
4. Abrahamsen P. and Benth F.E. Kriging with inequality constrains. Mathematical geology. –vol.33, no.6, 2001. –pp. 719. – 725
5. Moraru C., Timoshencova A. Evaluation of spatial interpolation methods for groundwater: case study, the Republic of Moldova. –Journal of the Institute of Geology and Seismology of the Academy of Sciences of Moldova, № 1. –Chisinau, 2013. – 69 –89 p., UDC 556.3.013; 556.3.072(478)
6. Surfer 23 User's Guide. [Электронный ресурс] Официальный сайт программы Surfer. URL: <https://www.goldensoftware.com/>

### ПАЛЕОГИДРОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РАССОЛОВ

Итемен Н.М.<sup>1</sup>, Дутова Е.М.<sup>2</sup>

Научный руководитель заведующий лабораторией Муртазин Е.Ж.

<sup>1</sup>ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина»,  
Satbayev University, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Палеогидрогеохимические исследования являются важной составной частью общего палеогидрогеологического анализа, задача которого выявление региональных палеогидрогеологических условий формирования и размещения промышленных рассолов, включая реконструкцию условий формирования для отдельных площадей и зон.

Геологическая история воды начинается с момента попадания ее в земную кору. Это происходит в результате седиментации - захоронения вместе с осадками и последующего отжатия из них, дегазации мантии и магматизма, инфильтрации и конденсации. Названные процессы – составная часть гидрологического и геологического круговоротов воды и разновидности геологической формы ее движения, благодаря чему на протяжении геологической истории поддерживается равновесие между водой свободной и связанной, в жидком, твердом, газообразном и надкритическом состояниях.

Принципы восстановления гидрогеологической истории

При восстановлении историю воды в недрах Земли с учетом современных гидрогеологических закономерностей необходимо обратиться к происходившим в прошлом геологическим процессам. В минувшие эпохи многие геологические процессы происходили так же, как и теперь, механизм их мало отличался от современного.

Отлагающиеся на дне водоемов глины и илы содержат воду в количестве 60—90% от своего объема. При уплотнении осадков часть воды отжимается сначала обратно в водоем, а затем по мере погружения и увеличения давления перекрывающих толщ, ведущего к превращению осадка в породу, вода вытесняется в песчаные слои, заключенные между глинами и илами. Если такой коллектор не имеет сообщения с водоемом, то вода в значительной массе в нем и накапливается. В результате уплотнения ила и последующего литогенеза количество воды уменьшается с 50-60 до 1-2% и менее (глинистые сланцы). Уплотнение песков примерно в два раза меньше, чем глин. Такое различие как раз и способствует переходу в больших масштабах воды из глин в пески. По мере погружения осадка содержание воды уменьшается. При достаточно высоких давлениях (на глубинах 3 км и более) из глин переходит в пески физически и химически связанная вода, при этом она становится свободной и начинает перемещаться под влиянием гидростатического или геостатического напора.

Находящиеся в песчаных слоях седиментогенные воды, захваченные при осадконакоплении, постепенно замещаются водами, которые отжимаются из глин. Движение отжимаемых вод, вызванное геостатическим давлением, направлено от мест наибольшего прогиба в сторону наименьшего погружения песчаного коллектора. Выжимающаяся из глин вода обеспечивает водообмен. Его называют седиментационным или, элизионным (лат. «элизио» – выжимаю).

Элизионный водообмен происходит при морском режиме, когда резервуар подземных вод находится в стадии погружения. При смене отрицательного знака тектонических движений на положительный наступает подъем территории и морской режим частично или полностью сменяется континентальным. Тогда становится возможным проникновение метеорных вод. Внедрение инфильтрогенных вод обязано действию гидростатического напора. Оно вызывает вытеснение находящихся в резервуаре седиментогенных вод. Такой водообмен получил название инфильтрационного.

Разрывная тектоника, обусловленная растягивающими усилиями, местами приводит к образованию глубоких расколов, по которым поступает из подкоровых и других очагов магма. Вместе с магмой, обычно в виде смеси с другими разновидностями вод, в резервуар проникают магматогенные воды. Они замещают как седиментогенные, так и инфильтрогенные воды. Возникающий в этом случае водообмен может именоваться магматическим или эндогенным. Движущей силой магматического водообмена служат внутреннее (эндогенное) давление, передающееся из магматических очагов, и тектонические напряжения. Такой водообмен происходит только в тектонически активных зонах.

Итак, полный гидрогеологический цикл состоит из элизионного (седиментационного), инфильтрационного и иногда магматического (эндогенного) этапов водообмена.

В течение элизионного этапа следующего гидрогеологического цикла снова происходит погружение и накопление седиментогенных вод в образующихся осадках. В отложениях первого цикла также продолжается водообмен, ведущий к вытеснению магматогенных или инфильтрогенных вод, при этом в погруженных частях продолжают выжиматься седиментогенные воды из глин, синхронные прежнему циклу. На инфильтрационном этапе нового цикла инфильтрогенные воды внедряются как в молодые, так и древние отложения. То же будет в случае интрузии магматогенных вод. Сходная с описанной картина имеет место при следующих гидрогеологических циклах. Таким образом, на протяжении времени своего существования бассейны пластовых вод сочетают в себе элизионный и инфильтрационный водообмены.

Резервуары платформенного типа, будучи устойчивыми во времени, подвергаются относительно слабой тектонической перестройке. В истории развития платформенных бассейнов пластовых вод наблюдаются обычно только элизионные и инфильтрационные этапы водообмена. Магматический этап проявляется редко (например, трапповый магматизм). В современную эпоху на древних платформах вследствие сильного уплотнения пород практически прекратился элизионный водообмен, сменившись инфильтрационным. Правда, подземные водоносные системы в глубоких горизонтах молодых платформ продолжают пополняться седиментогенными водами путем отжатия связанных глинами вод из отложений прошлых гидрогеологических циклов, но наряду с ним в верхних горизонтах действует инфильтрационный водообмен текущего, гидрогеологического цикла.

Следовательно, в ходе исторического развития бассейны пластовых вод оказались заполненными большей частью смесью с самым различным соотношением седиментогенных и инфильтрогенных вод.

#### Палеогидрогеохимические реконструкции

Палеогидрогеохимические реконструкции основаны на материалах структурно-палеогидрогеологического анализа распространения различных геологических формаций как по площади, так и в разрезе исследуемых тектонических структур. Кроме того, при восстановлении степени минерализации и особенностей химического состава подземных вод важное значение имеют материалы палеогидрогеодинамических и палеогидротермических построений. Также важны данные палеогеографии и палеоклиматологии, данные о эпигенетических изменениях водовмещающих горных пород в процессе литогенеза.

При реконструкции химического состава пластовых вод бассейнов осадконакопления различных геологических формаций использованы существующие методики. Для открытых морских бассейнов в основу приняты данные о составе современных морских бассейнов разной солености (Мировой океан и Каспийское море). Для характеристики минерализации и химического состава древних солеродных бассейнов в первом приближении использованы имеющиеся данные о процессах испарения современной морской (океанической) воды, о составе образующихся при этом маточных рассолов и кристаллизующихся в них минеральных солей. Правомерность использования данных о химическом составе современных морских (океанических) вод и продуктов их концентрирования (путем испарения) для палеогидрогеохимических реконструкций определяется тем положением, что химический состав океанической воды, вероятно, не претерпел существенных изменений, начиная с кембрийского периода.

При накоплении осадочных формаций в условиях гумидного климата в пресноводных речных и озерных бассейнах, воды таких бассейнов имели, как в современную эпоху, гидрокарбонатный магниевый-кальциевый состав с минерализацией 0,1-0,2 г/кг. Для характеристики состава вод ранее существовавших внутренних морских водоемов и крупных озерных бассейнов условиях аридного климата использованы имеющиеся сведения о составе современных внутренних морей и озер, располагающихся в различных климатических зонах.

#### Литература

1. Ахмедсафин У.М., Джабасов М.Х. и др. «Артезианские воды Чу-Сарысуйской впадины», 1979
2. Бондаренко С. С. Изучение и комплексная оценка месторождений подземных промышленных вод. - Сов. геология, 1982, № 8, с. 108—117.
3. Бойко Т.Ф., Литий, рубидий, цезий. В кн.»Металлы в осадочных толщах». М., 1964
4. Бойко Т.Ф., Редкие элементы в галогенных формациях. М., «Наука», 1973
5. Быкадоров В.А., Никитин Е.А. Тектоника мезозой-кайнозойского платформенного чехла Чу-Сарысуйской впадины. 1977
6. Вартанян Г. С. Поиски и разведка месторождений минеральных вод в трещинных массивах. М., Недра, 1977.
7. Зайцев И. К., Толстухин Н. И. Закономерности распространения и формирования минеральных (промышленных и лечебных) подземных вод на территории СССР. М., Недра, 1972.
8. Маврицкий Б. Ф. Термальные воды складчатых и платформенных областей. М., Наука, 1981.
9. Розен Б.Н., Геохимия брома и йода. М., «Недра», 1970
10. Солодов Н.А., Болашов Л.С., Кременецкий А.А. Геохимия лития, рубидия и цезия. М., «Недра», 1980
11. Тугаев Т.М., Мухамеджанов М.А., Сыдыков Ж.С. Отчет по результатам поисков редких элементов подземных и поверхностных водах Тургайской впадины, Центрального Казахстана и составление «Карты промышленных вод Казахстана», м-ба 1:15000000 за 1978-1980 гг (ВГФ, РГФ, ТГФ, Фонды ПГО «Казгидрогеология»)

### СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В РЕГИОНЕ ТИМИКА (ПАПУА, ИНДОНЕЗИЯ)

Кадепа А.

Научный руководитель доцент Решетько М.В.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В условиях необходимости перехода мирового сообщества к устойчивому развитию особое значение должно придаваться как высокой экономической эффективности, так и экологической безопасности. Индонезия это одна из динамично развивающихся стран Юго-Восточной Азии, где экономический рост сопровождается серьезными экологическими проблемами. Принимаемые меры по охране окружающей среды в настоящее время не могут полностью ликвидировать интенсивное воздействие горнодобывающей отрасли на компоненты природной среды, в том числе и на водные ресурсы.

Целью данной работы является исследование влияния горнодобывающей промышленности на водные ресурсы в регионе Тимика (Папуа, Индонезия).

Данная работа основана на материалах, полученных автором при прохождении практики в компании PT Freeport Indonesia (PTFI); материалы мониторинга предоставлены экологической лабораторией компании.

Одно из самых крупных в мире золотосодержащее медно-порфировое месторождение Грасберг расположено в провинции Папуа в Индонезии, около Пунчак-Джая (4884 м) – самой высокой горы в Папуа. На территории исследований можно выделить две области: высокогорную от 2000 до 4200 м над у. м, где ведется разработка месторождения и находятся горно-обогатительные фабрики; и относительно плоскую местность (от 10 м до 2000 м), которая включает в себя порт Амамапаре, г. Тимика и другие населенные пункты. Для исследуемой территории в целом характерен экваториальный тип климата. В горнодобывающем районе в течение года температура воздуха колеблется от 3 до 18 °С, а среднее количество осадков составляет более 3000 мм/год. В низинах температура воздуха 20–34°C, осадков выпадает более 5000 мм/год. Широкий диапазон высот создает разнообразную растительность от альпийской в горах до тропических лесов в низменности. Расстояние между районом разработки месторождения и устьем реки Айква, впадающей в Арафурское море, составляет около 100 км. Особенности рельефа и большое количество осадков создают мощные речные системы в горных районах и меандрирующие реки с обширными поймами в низинах. Среднесуточный расход реки Отомона (выше по течению от г. Тимика) составляет около 50 м<sup>3</sup>/с, максимальный расход в 2021г. составил 202 м<sup>3</sup>/с. Транспортирующая способность реки Айква составляет 15–20 тыс тонн наносов в сутки. Американский геолог Mark Cloos и индонезийский геолог Benyamin Sariie в результате геологических исследований центрального хребта провинции Папуа Индонезии пришли к выводу о том, что формирование центрального хребта Пунчак Джая обусловлено проявлением 20 млн лет назад коллизионного орогенеза и направленной на север субдукции Австралийской плиты. Тектонические последствия рифтинга плиты между 6 и 3 млн лет назад вызвали магматизм и процессы нижнекорового антиплейтинга. Интенсивный магматизм сформировал супергигантское Cu + Au рудное тело Грасберг и связанные с ним скарновые тела рудного района Эрцберг [1].

Компания PTFI работает в Индонезии с середины прошлого века. В 1972 году на комплексе Грасберг был получен первый медный концентрат. На протяжении почти пяти десятилетий PTFI инвестировал 7,7 млрд долларов США в инфраструктуру, а вклад в ВВП Индонезии с 1992 года более чем 60 миллиардов долларов США. В 2021 году Правительство провинции Папуа и Правительство регентства Тимика увеличили долю с 9,36 % и стали владельцами 51% акций PTFI. На комплексе Грасберг трудится около 20 тыс. сотрудников [2]. Добыча полезных