

## РЕСУРСНАЯ БАЗА ДЛЯ РАЗВИТИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УКРАИНЕ

*В статье представляются материалы о состоянии геотермальных ресурсов и возможности их извлечения в Украине. Рассматриваются виды классификации геотермальных ресурсов. Приводятся данные геологических исследований температурных полей горных пород на глубинах от 0 до 10 км, а также данные о термальных водах и их запасах до глубины 5 км. Рассматривается возможность использования для добычи геотермальных вод существующих скважин на нефте-газовых месторождениях. В заключении приведены данные о регионах Украины, перспективных для развития геотермальной энергетики.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* геотермальные, ресурсы, запасы, классификация, геологический, геотермический, недра, скважины, энергетика.

Потенциальным инвесторам крупных геотермальных проектов необходима, прежде всего, информация о геотермальных ресурсах, которая должна содержать данные глубокого бурения о температуре, давлении, проницаемости, о ресурсах подземных вод.

Согласно толкованию Большого Энциклопедического словаря, Геологической энциклопедии, Модельного кодекса о недрах и недропользования для государств-участников СНГ, «...Геотермальными ресурсами признается часть геоэнергетических ресурсов, включая все продукты геотермальных процессов, в том числе, подземные геотермальные воды, пар и рассолы, учитывая искусственно введенные в подземные геотермальные формации; тепло и иную энергию, содержащуюся в подземных геотермальных формациях...»

По геофизическим признакам и технологиям разработки геотермальные ресурсы условно разделяют на гидрогеотермальные – это перегретый пар, паро-водяная смесь, вода и рассолы, которые находятся в подземных проницаемых пластах на различной глубине и при различных температурах, и петрогеотермальные – теплота непроницаемых горячих горных пород. Из общего количества геотермальных ресурсов гидрогеотермальные составляют от 1 до 2%. Соответственно от 98 до 99% приходится на петрогеотермальные ресурсы [1]. По разным данным, для Украины на глубинах до 5 км на площадях Украинского кристаллического щита и Воронежского кристаллического

массива петротеротермальные запасы составляют более  $300 \cdot 10^{12}$  ГДж. Но методы освоение этого потенциала, технологии извлечения в настоящее время находятся на экспериментальном уровне и требуют решения ряда сложных научно-технических проблем. Поэтому основным направлением использования геотермальных ресурсов при современном развитии технологий извлечения геотермальной энергии рассматривается гидрогеотермальная их составляющая – термальные воды, наиболее распространенные и пригодные к техническому использованию.

Кондиции термальных вод, залегающих на разных глубинах при разных температурах, могут различаться на порядки, а методы их извлечения могут быть принципиально различными. В настоящее время нет единой, научно-обоснованной классификации геотермальных ресурсов и методики их оценки. Наиболее детализированной и обоснованной можно считать классификацию, разработанную в Ленинградском горном институте в восьмидесятые годы прошлого столетия. В ней понятие «ресурсы» приняты как техническая и экономическая возможность освоения тепловой энергии нагретых горных пород в ближайшее время и на перспективу [2]. Рассматриваются пять групп ресурсов и шесть групп запасов: общие (или потенциальные) геотермальные ресурсы определяются как количество теплоты, содержащееся в земной толще до прогнозной глубины бурения. Они делятся на технически доступные или прогнозные и технически перспективные и т.д. Схема классификации представлена в табл. 1.

**Таблица 1.** Классификация ресурсов геотермальной энергии недр



В литературе так же широко представлена классификация по [3], которая определяет величину гидрогеотермальных ресурсов размерами прогнозных и эксплуатационных запасов термальных вод. Прогнозные ресурсы определяются как максимальное количество природного теплоносителя и тепловой энергии, которые могут быть получены со всей оцениваемой площади при определенных условиях. Эксплуатационные запасы рассматриваются как часть прогнозных ресурсов, которые могут быть получены из оцениваемого «водоносного комплекса» при выполнении определенных технико-экономических и экологических требований. Естественные запасы определяются как «масса подземных вод, заключенных в поровом пространстве продуктивных водоносных горизонтов внутри контура месторождения».

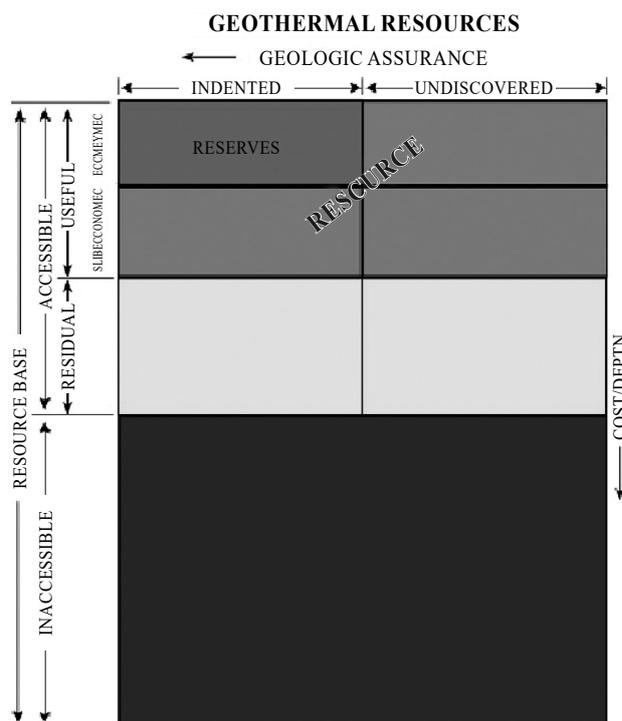
В странах ЕС классификация и оценка ресурсов производится в соответствии с Протоколом оценки ресурсов GEOELEC [5], который основан на концепции оценки ресурсов нефти и газа, скорректированной для условий оценки геотермальных ресурсов и отображается в диаграмме McKelvey (рис. 1).

Существующие методики оценки геотермальных ресурсов основаны на определении плотности теплового потока – количества теплоты, которое выделяется из недр на поверхность за единицу времени на единицу площади по базовой формуле

$$Q = kc(H - h)(T - t),$$

где Q – плотность теплового потока, Дж/м<sup>2</sup>; k – коэффициент перевода тепловых единиц в единицы условного топлива; c – объемная теплоемкость теплогенерирующего пласта, Дж/м<sup>3</sup> · °C; H – глубина бурения, м; h – глубина нейтрального слоя, м; T – средняя температура теплогенерирующего слоя, °C; t – температура окружающей среды, °C [4].

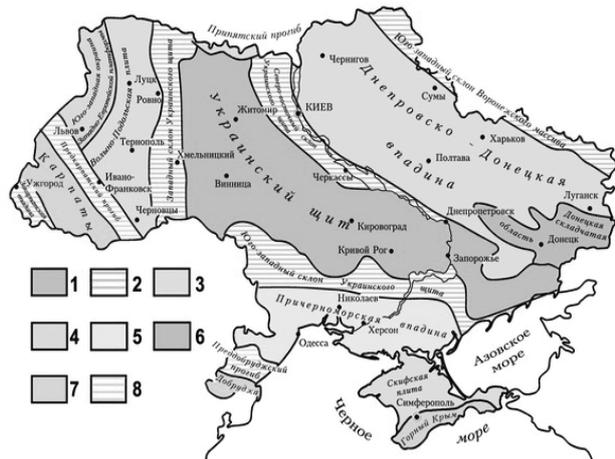
На практике оценка запасов геотермальной энергии производится по самым разным параметрам: по количеству всей теплоты земной коры при температуре выше 15 °C; по степени известности и возможности экономически оправданного извлечения; по количеству теплоты, содержащейся в коллекторе, залегающем на глубине 3–3,5 км и имеющем заданные технические и технологические характеристики; по энергетическому потенциалу геотермических скважин; по количеству теплоты, которая содержится в сухих горных породах и перегретых термальных водах, залегающих на глубине до 5 км, которые доступны для массового эксплуатационного бурения.



**Рис. 1.** Диаграмма Маккелви, представляющая геотермальные ресурсы и терминологию запасов в контексте геологического обеспечения и экономической жизнеспособности (из Williams et al., 2008)

В Украине, несмотря на то, что проблемами геотермальной энергетики начали заниматься еще в середине прошлого столетия, до настоящего времени не проведены системные исследования геотермальных месторождений, не существует четкой их классификации.

В разные годы геологами были составлены карты геологического строения недр Украины. [6]. На рис. 2 представлена геологическая карта ее территории, которая показывает, насколько сложна и разнообразна структура недр страны, которые, в том числе, определяют специфику геотермальных месторождений.



**Рис. 2.** Геологическая карта Украины  
 1 – Украинский щит; 2 – склоны Украинского щита и Воронежского массива; 3 – обрамление щита: Волыно-Подольская и Скифская плиты, Днепроовско-Донецкая впадина и Припятский прогиб; 4 – юго-восточная окраина Западно-Европейской платформы; 5 – Причерноморская впадина; 6 – Донецкая складчатая область; 7 – складчатые системы Карпат, Добруджи и Крыма; 8 – Прикарпатский и Преддобруджинский прогибы

Основным физическим параметром земной коры для расчета геотермальных ресурсов является температура горных пород, которая определяется путем непосредственного измерения в выработках шахт и в буровых скважинах. На больших глубинах температуру оценивают косвенно, через тепловой поток, методами моделирования, расчетно-аналитическими методами. На основе этих данных геологами был составлен «Геотермический атлас Украины» [7], в котором представлены геотемпературные поля на глубинах от 0 до 75 км. Каждое температурное поле представляет собой плоский срез с указанием температур горных пород на данной глубине. В Атласе приводится подробное описание температурных полей на различных глубинах.

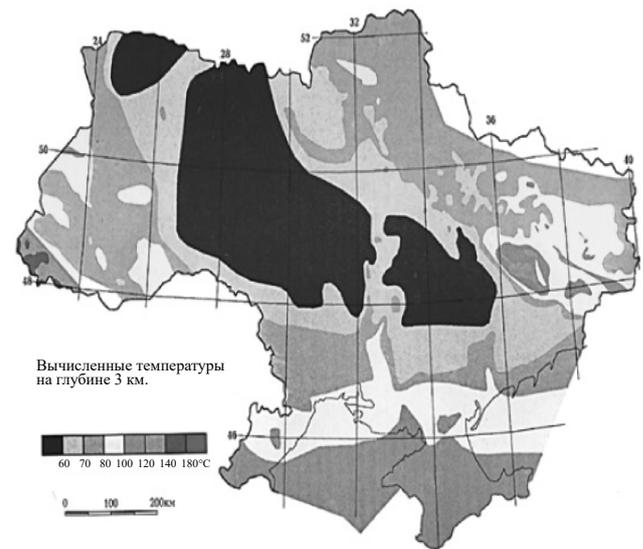
Температура поверхности на нулевой отметке зависит от географического положения территории и от вида ее покрытия. Самые высокие значения температур на поверхности отмечены на Южном берегу Крыма.

На глубине 0,5 км температуры изменяются в широких пределах – от 13 °С для Украинского щита и его склонов до 19–32 °С для Донбасса и Днепроовско-Донецкой Впадины и до 43 °С для Закарпатского прогиба.

На глубине до 1 км в районе Украинского щита температуры не превышают 19–22 °С; в районе Донецкой области температурное поле

неравномерно с локальными повышениями и понижениями температур в интервале от 23 до 50 °С. В районе Карпат наблюдаются перепады температур до 50 °С. На Закарпатской впадине на глубинах 430–450 м обнаружены термальные воды с температурой 35–40 °С, а на глубинах 1000–2000 м – от 70 до 100 °С. В Предкарпатской зоне обнаружены воды на глубине 1000 м с температурой 45–50 °С, а на глубине 2000 м – с температурой 60–70 °С. На территории Крыма в центральной и западной части Степного Крыма и на Керченском полуострове на глубине 1000 м выявлены воды с температурой 60–90 °С.

На глубинах 3–3,5 км (рис. 3) наблюдается более высокий фон температур с большими перепадами. В районе Донецкой области, на крайнем западе страны и в Крыму температуры достигают 100–140 °С, а в районе Ужгорода – 160 °С. В районе Днепроовско-Донецкой впадины, охватывающей Черниговскую, Сумскую, Харьковскую, Полтавскую, Луганскую области, а также в районе Карпат и Прикарпатья, температура залегающих пород составляет 70–90 °С.



**Рис. 3.** Карта температурных полей на глубине 3 км

На глубине 10 км (рис. 4) практически на всей территории Украины залегающие глубинные породы имеют температуру выше 100 °С. Однако технологии извлечения теплоты с таких глубин в настоящее время недоступны.

Среднее значение геотермического градиента (повышение температуры на каждые 100 м вглубь Земли) составляет 2–3 °С. В отдельных районах Закарпатья этот показатель достигает 6,8 °С. Температуры пород выше 100 °С зафиксированы в отдельных районах Крыма на глубине более 2 км и в районе Ужгорода на глубине более 3 км.

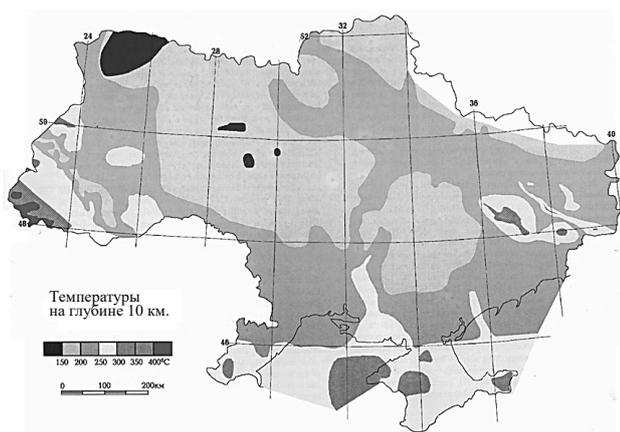


Рис. 4. Карта температурных полей на глубине 10 км

Термальные воды залегают на разных глубинах и имеют температуры, соответствующие температурам содержащих их пород. По оценкам геологов [7], геотермальные воды в Украине разделяются на следующие категории: фонтанирующие месторождения; месторождения, ресурсы которых можно извлечь насосным способом; месторождения, ресурсы которых можно извлекать при поддержке пластового давления.

На глубине около 900 м средняя температура вод составляет 55 °С. На глубинах до 5 км термальные воды распространены в пределах больших артезианских бассейнов: Закарпатский, Предкарпатский, Днепровско-Донецкий и Причерноморский.

По данным [8] была составлена (табл. 2) характеристика геотермальных месторождений по регионам Украины с глубиной залегания 5 км. В рассматриваемых областях имеются достаточно

большие объемы теплоносителя с температурой от 84 до 95 °С. Однако пригодность геотермальных вод как источника тепла определяется не только температурой, производительностью скважин, свойствами продуктивного слоя, но и целым рядом других параметров, таких как минерализация, химический состав, агрессивность вод, их местонахождение относительно потребителя и т.д. В связи с этим необходимо учитывать, что эксплуатационная характеристика геотермального источника может быть определена только после предварительных геологических исследований, часто связанных со значительными рисками, тем более, что информация о наличии термальных вод большинства геотермальных месторождений получены из разведочных скважин газо-нефтяных месторождений, где специальных исследований водоносных горизонтов не проводилось и поэтому оценка эксплуатационных запасов больших площадей может быть не совсем корректной.

Благоприятным обстоятельством для развития геотермальной энергетики в Украине является наличие большого количества законсервированных скважин на территориях газо-нефтяных месторождений. По некоторым данным их более 20 тысяч. С целью выявления скважин, пригодных для добычи термальных вод, в Институте технической теплофизики НАН Украины были проведены работы по натурному обследованию геотермальных месторождений в Крыму, Закарпатье и Днепровско-Донецкой впадине. Результаты представлены в табл. 3.

Наибольшее количество скважин находится на территории густонаселенного региона на Днепровско-Донецкой впадине. На рис. 5 показана схема расположения этих скважин.

Таблица 2. Характеристика геотермальных месторождений по регионам Украины

| № п/п | Области       | Количество теплоносителя, который может быть добыт, тыс. м <sup>3</sup> /сут | Температура геотермального теплоносителя °С | Толщина продуктивн. слоя м | Площадь геотерм. месторожд. м <sup>2</sup> | Средний коэфф. фильтрации продуктивн. слоя м/сут |
|-------|---------------|--|---|----------------------------|--|--|
| 1     | Донецкая      | 297,7  | 80  | 1000                       | 2046,8                                     | 0,17   |
| 2     | Закарпатская  | 264,1  | 85  | 1500                       | 130,7                                      | 0,07   |
| 3     | И.-Франковск. | 180,7  | 85  | 1300                       | 246  | 0,065  |
| 4     | Львовская     | 197,2  | 85  | 1300                       | 465,9                                      | 0,065  |
| 5     | Николаевская  | 408,9  | 84  | 1500                       | 212,9                                      | 0,15   |
| 6     | Одесская      | 475,4  | 84  | 1500                       | 422,9                                      | 0,15   |
| 7     | Полтавская    | 133,8  | 95  | 1400                       | 433,8                                      | 0,052  |
| 8     | Харьковская   | 147,3  | 95  | 1400                       | 615,3                                      | 0,052  |
| 9     | Херсонская    | 391,5  | 84  | 1500                       | 153,4                                      | 0,15   |
| 10    | Черниговская  | 121,7  | 95  | 1400                       | 225,3                                      | 0,052  |
| 11    | А.Р.Крым      | 474,9  | 90  | 1500                       | 544,4                                      | 0,2  |

**Таблица 3.** Газо-нефтяные скважины, пригодные для добычи термальных вод

| Наименование                       | Значение величин для регионов |            |           |
|------------------------------------|-------------------------------|------------|-----------|
|                                    | Крым                          | Закарпатье | ДДВ       |
| 1. Количество существующих скважин | 36                            | 14         | 141       |
| 2. Глубина, м                      | 1200–1600                     | 1000–2000  | 3500–5000 |
| 3. Дебит, м <sup>3</sup> /сут      | 500–1200                      | 500–1000   | 500–1200  |
| 4. Температура, °С                 | 50–70                         | 55–75      | 90–170    |
| 5. Минерализация, г/л              | 10–20                         | 15–25      | 150–200   |
| 6. Характер добычи                 | самоизлив                     | насосный   | насосный  |

Диапазон температур термальных вод на этой площади лежит в пределах от 35 до 170 °С. В связи с тем, что воды залегают на глубине от 3,5 до 5 км, они имеют высокую степень минерализации: от 50 до 300 г/л. По предварительным данным 82 скважины с общим дебитом 52487 м<sup>3</sup>/сут могут быть использованы для добычи термальных вод. Наибольшее количество скважин расположено в Черниговской и Сумской областях. По два месторождения имеются в Полтавской и Харьковской областях. Наиболее перспективными с точки зрения получения дебитов не менее 500 м<sup>3</sup>/сут являются: Монастырищенское месторождение нефти, где имеется скважина для добычи термальной воды с температурой 90 °С из горизонта глубиной 3383 м, а также скважина для закачки охлажденной воды, и Гадячское газоконденсатное место-

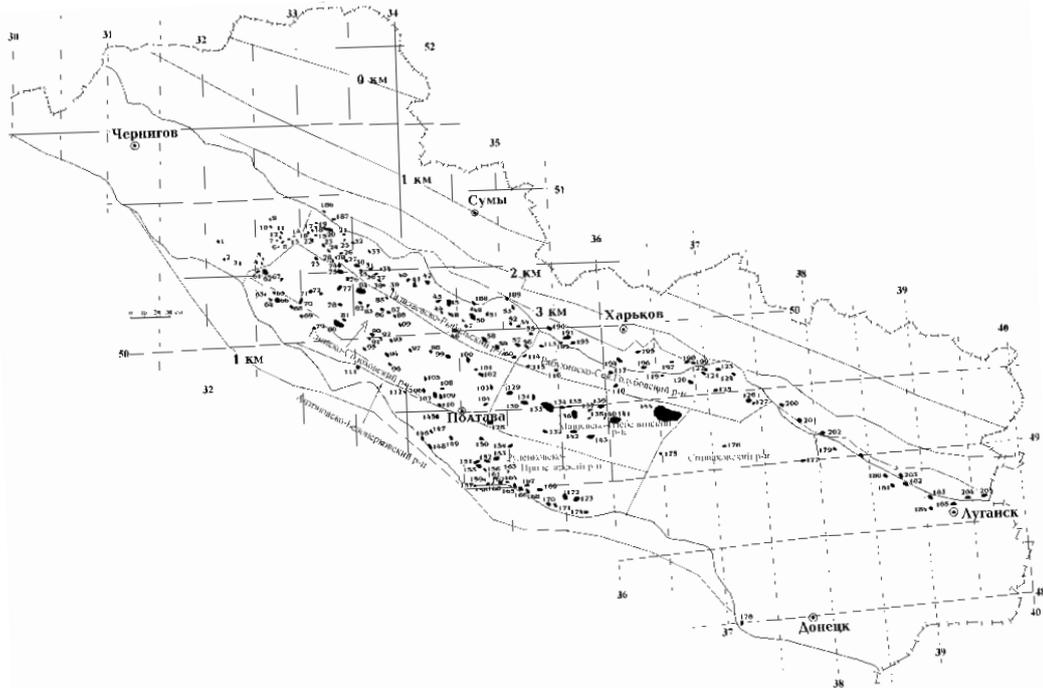
рождение, где имеется скважина глубиной 5200 м, с температурой воды 119–120 °С и минерализацией 252–232 г/л, дебитом 1486 м<sup>3</sup>/сут.

В Институте возобновляемой энергетики НАН Украины по материалам «Геоинформ Украины» и отчетам геологоразведочных экспедиций были обработаны данные более, чем 300 скважин по всей территории Украины. На основании этих данных была произведена оценка энергетического потенциала скважин, в которых были выявлены термальные воды с температурой выше 50 °С. По их расчетам он составил 1,9 млрд МВт·час в год [9].

Использование существующих скважин существенно снижает затраты на подготовительные работы по геологической разведке, на бурение поисковых и разведочных скважин. При определенной реконструкции и доработке они могут быть использованы для создания геотермальных установок различного назначения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мировыми лидерами в использовании геотермальной энергии являются страны, расположенные в области современного вулканизма, где теплоноситель имеет высокие параметры, доступен на поверхности Земли, расходы на сооружение геотермальных объектов минимальны, а себестоимость энергии конкурентоспособна на рынке энергоносителей. Украина к перечню этих стран не относится. Экономически выгодные высокопотенциальные ресурсы распространены в немногих регионах, к тому же, недостаточно



**Рис. 5.** Схема расположения скважин на территории Днепро-Донецкой впадины

обследованных. Низкопотенциальные ресурсы доступны практически повсеместно, но требуют либо дорогостоящего глубинного бурения, либо больших площадей под неглубокие скважины. Наиболее перспективными можно считать те регионы, в которых наблюдаются наиболее высокие температуры горных пород на доступных глубинах и имеются высокодебитные водоносные горизонты, такие, как Закарпатье, Степной Крым, Керченский полуостров. Но с учетом того, что ряд районов, в частности, Днепровско-Донецкой Впадины, слабо исследованы на предмет развития геотермального энергоснабжения, а также принимая во внимание возможности современных технологий по трансформации низкопотенциальной теплоты, перечень перспективных районов может быть значительно расширен. По оценкам специалистов в настоящее время он выглядит так, как показано на рис. 6 [10].



**Рис. 6.** Регионы Украины, перспективные для развития геотермальной энергетики

Имеющиеся в литературе многочисленные утверждения об огромных запасах геотермальной энергии на территории Украины, о мощности гипотетических геотермальных электростанций [11] не всегда представляются обоснованными. Оценка геотермальных ресурсов без предварительного всестороннего изучения месторождения, пробного бурения, изучения свойств водоносных горизонтов может оказаться не точной. Поэтому говорить о возможности создания крупных геотермальных электро-

станций на современном этапе представляется преждевременным. Наряду с бурно развивающимся строительством солнечных и ветровых электростанций, геотермальная энергия может занять достойное место в гидротермальном теплоснабжении.

1. Гнатусь Н.А., Хуторской М.Д. Тепло «сухих» горных пород – неисчерпаемый возобновляемый источник энергии. URL: <http://naukarus.com/teplo-suhih-gornyh-porod-neischerpaemu-vozobnovlyaemu-istochnik-energii> (дата звернення: 18.06.2019).
2. Богуславский Э.И. Освоение тепловой энергии недр. М.: Издательство «Спутник +», 2018. 448 с.
3. Ресурсы геотермальной энергии. 17.08.2016. URL: <https://metallurgy.zp.ua/resursy-geotermalnoj-energii/> (дата звернення: 10.06.2019).
4. Гордиенко В.В. Тепловые процессы, геодинамика, месторождения. 2017. URL: <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-teplovye-processy.pdf> (дата звернення: 20.06.2019).
5. Геотермальные ресурсы. URL: <http://www.mining-enc.ru/g/geotermalnye-resursy/> (дата звернення: 21.06.2019).
6. Державна геологічна карта України. URL: [geoinf.kiev.ua/wp/kartograma\\_rep.php?listn=m35-4](http://geoinf.kiev.ua/wp/kartograma_rep.php?listn=m35-4) (дата звернення: 07.06.2019).
7. Геотермический атлас Украины URL: <https://docplayer.ru/142360361-Geotermicheskiy-atlas-ukrainy.html> (дата звернення: 07.06.2019).
8. Забарний Г.М., Шурчков А.В. Энергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України. К.: ИТТФ НАН України, 2002. 211 с.
9. Морозов Ю.П. (2013). Метод интенсификации дебита геотермальных скважин. URL: <http://naukarus.com/metod-intensifikatsii-debita-geotermalnyh-skvazhin> (дата звернення: 21.06.2019).
10. Геология и полезные ископаемые Украины. 2001 г.: атлас. URL: <https://www.google.com/search?q=Атлас+геология+и+полезные+ископаемые+Украины&oq=Атлас++геология+и+полезные+ископаем> (дата звернення: 21.06.2019).
11. Геотермальные ресурсы: возможности использования в Украине. URL: <http://geonews.com.ua/news/detail/neissyakaemaya-energiya-zemlibremgeotermalnye-resursy-vozmozhnost-2076> (дата звернення: 19.06.2019).

*Поступила в редколлегию: 15.07.2019*