

ГЕОГРАФИЯ ЗА РУБЕЖОМ

УДК 553.78

DOI: 10.15372/GIPR20230216

А.И. ОРГИЛЬЯНОВ, И.Г. КРЮКОВА, П.С. БАДМИНОВ

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
aiorgil@crust.irk.ru, irig@crust.irk.ru, prokop_sbade@mail.ruОНОНСКОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ ГИДРОТЕРМ — УНИКАЛЬНЫЙ ОЧАГ РАЗГРУЗКИ
ГОРЯЧИХ ВОД ХЭНТЭЙ-ДАУРСКОГО СВОДА

Изложены новые представления о структурно-гидрогеологических условиях и эволюции подземной гидросферы Хэнтэй-Даурского свода, который рассматривается как единая гидрогеотермальная система, расположенная на территории двух смежных государств: России и Монголии. Выводы, сделанные авторами, базируются на фактическом материале, полученном во время экспедиционных работ, впервые проведенных в зимний период, лабораторных исследований, а также при изучении архивных материалов. Особое внимание уделено Ононскому очагу разгрузки горячих вод. Дано подробное описание источников, приводятся сведения о макро- и микрокомпонентном химическом составе воды. Рассмотрена зависимость содержания микроэлементов от глубины формирования минеральных вод. Произведена оценка прогнозных температур на глубине формирования по методу кремниевого геотермометра. Отмечено, что в период зимней межени практически весь объем стока р. Онон формируется за счет разгрузки гидротерм. С помощью изотопного отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$ рассчитана доля мантийной составляющей газового состава воды изучаемого источника. Отмечено, что, несмотря на высокое абсолютное содержание водорастворенного гелия, относительная величина мантийной составляющей равна всего 0,3–0,4 %. Это свидетельствует о коровой природе повышенной концентрации гелия. Отмечается высокая бальнеологическая ценность термального источника Их-Онон и подчеркивается необходимость организации охраны этого уникального природного памятника.

Ключевые слова: сводовое поднятие, термальные воды, микрокомпоненты, гелий, изотопный состав, глубина формирования.

A.I. ORGILYANOV, I.G. KRYUKOVA, P.S. BADMINOV

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Lermontova, 128, Russia, aiorgil@crust.irk.ru, irig@crust.irk.ru, prokop_sbade@mail.ruTHE ONON MANIFESTATION OF HYDROTHERMS:
A UNIQUE SITE OF DISCHARGE OF HOT WATERS OF KHENTEI-DAURIAN VAULT

Presented are the new concepts of the structural-hydrogeological conditions and evolution of the underground hydrosphere of Khentei-Daurian vault which is considered as a unified hydrogeothermal system located on the neighbouring territories of Russia and Mongolia. The conclusions of these authors are based on factual evidence obtained during expedition work that was for the first time carried out in the winter period, on laboratory investigations as well as on the studies of archival material. Special attention is given to the Onon seat of discharge of hot waters. A detailed description of springs is provided, and information on macro- and microcomponent chemical composition of water is presented. The relationship between the concentration of microelements and the depth of formation of mineral waters is considered. An assessment is made of the predicted temperatures at the depth of formation by the method of silica geothermometer. It is pointed out that during the winter runoff low period, almost the entire volume of runoff of the Onon River is formed by the discharge of hydrotherms. The mantle part of gas composition of water from the spring under study was calculated by use of the isotopic relationship $^3\text{He}/^4\text{He}$. It is noted that in spite of a high absolute concentration of water-dissolved helium, the relative value of the mantle component is only 0.3–0.4 %. This indicates the crust origin of the increased concentrations of helium. It was noted a high balneological value of the Ikh-Onon thermal spring is highlighted, and the need to organize the protection of this unique natural monument is emphasized.

Keywords: vault uplift, thermal waters, microcomponents, helium, isotopic composition, depth of formation.

ВВЕДЕНИЕ

Минеральные, в том числе термальные, воды представляют собой весьма интересный природный объект, привлекающий внимание исследователей во многих странах мира. Они являются важным полезным ископаемым, имеющим большое значение для бальнеологического и, в ряде случаев, тепло-энергетического применения. Вопросы формирования ресурсов и состава, а также особенности регионального распространения термальных вод на территории Байкало-Монгольского региона приобретают особую актуальность в связи с интенсивным развитием туристическо-рекреационной инфраструктуры. Хэнтэй-Даурский свод, наряду с Монгольским Алтаем, Прихубсугульем и Хангаем, представляет собой область распространения термальных вод, расположенную на территории Монголии. В то же время, в его пределах происходит пересечение гидроминеральных провинций азотных терм и холодных углекислых вод.

Многочисленные источники минеральных вод, локализованные на смежных территориях России и Монголии, представляют большой интерес и бальнеологическую ценность. В соответствии с программой Российско-Монгольского совместного интеграционного проекта СО РАН и АН Монголии «Гидроминеральные ресурсы Байкало-Монгольского региона», участниками которого являются авторы настоящей статьи, было осуществлено детальное обследование Их-Ононского термального источника, расположенного на южном склоне Хэнтэй-Даурского сводового поднятия, в удаленной труднодоступной местности. Этот источник можно рассматривать как уникальный природный объект, так как он является одним из наиболее высокотемпературных в Монголии ($+86^{\circ}\text{C}$), наряду с расположенным на юге Хангайского неотектонического поднятия и гораздо более изученным месторождением гидротерм Шаргалжут ($+91,5^{\circ}\text{C}$). В пределах Хэнтэй-Даурского свода проявления гидротерм с такой высокой температурой неизвестны. В отличие от хорошо изученных и описанных в литературе термальных источников Хангая и Прихубсугуля [1, 2], Ононский источник не был исследован и опробован с применением современных методик.

Цель предлагаемой статьи — ознакомление читателей с малоизученным, расположенным в малообжитой труднодоступной местности, проявлением термальных вод Их-Онон.

ОБЪЕКТ И ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Термальный источник Их-Онон расположен в 200 км к северо-востоку от столицы страны — г. Улан-Батора, в 120 км к западу от Батширэт сомона Хэнтэй аймака (рис. 1). Координаты одного из выходов источника (№ 2): $48^{\circ}57,313'$ с. ш.; $109^{\circ}00,625'$ в. д.; абсолютная высота места выхода — около 1450 м (рис. 2).

Первые сведения об «очень горячем источнике», расположенном в Хэнтэйской горной области, приведены российским путешественником Я.П. Шишмаревым в 1865 г. В последующие годы его посещали и описывали ряд путешественников, геологов и врачей-курортников. Информация, собранная этими учеными, с наиболее детальным описанием источника обобщена в сводной монографии Н.А. Маринова и В.Н. Попова «Гидрогеология МНР» [3] (под названием «Халуный-Усу-Аршан»).

Рис. 1. Геологическая карта Ононского проявления гидротерм.

1 — четвертичные аллювиальные отложения; 2 — средний–верхний девон, осадочно-метаморфические породы; 3 — мезозойские гранитоиды; 4 — палеозойские гранитоиды; 5 — источники термальных вод; 6 — разломы; 7 — государственная граница.

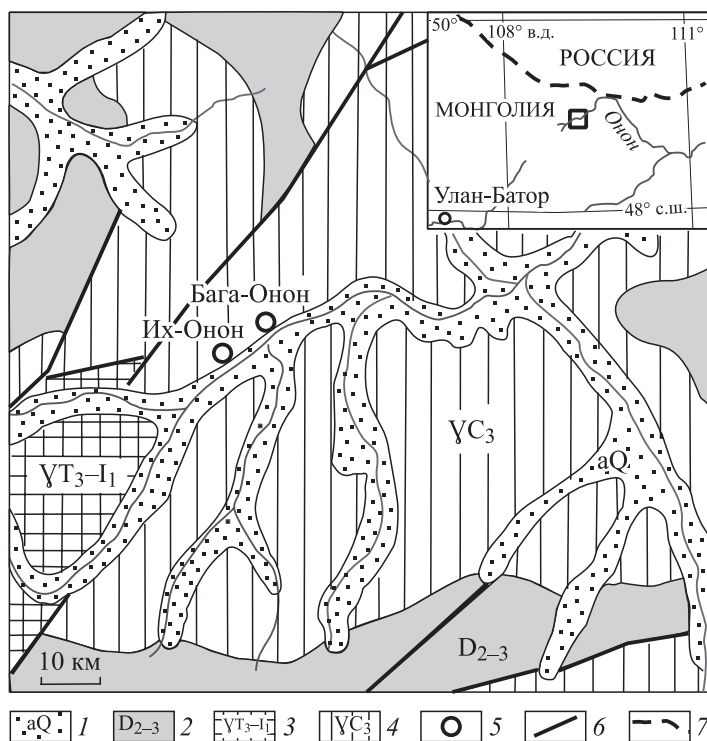


Таблица 1

Температура воды выходов гидротерм Их-Онон при температуре воздуха -28°C

Номер на рис. 2	T воды, $^{\circ}\text{C}$	Номер на рис. 2	T воды, $^{\circ}\text{C}$	Номер на рис. 2	T воды, $^{\circ}\text{C}$	Номер на рис. 2	T воды, $^{\circ}\text{C}$	Номер на рис. 2	T воды, $^{\circ}\text{C}$
1	22	6	34	11	82	16	20	21	21
2	56	7	32	12	86	17	26	22	20,5
3	21,5	8	37	13	67	18	26,5	23	13
4	15	9	74	14	26	19	—	24	11
5	40	10	75	15	42	20	21	25	15

Примечание. Прочерк — на момент обследования выход № 19 был сухим, поэтому измерить температуру воды не представлялось возможным.

срубы (рис. 3), в то время как каптажи других выходов находятся в разрушенном состоянии. Температура воды измеренных правобережных дериватов составила 11 и 15°C . Кроме того, на дне русла есть ряд небольших грифонов, хорошо маркирующихся характерными зелеными термофильными водорослями. В [3] упомянуто, что максимальная температура воды, определенная М.А. Усовым в термальных источниках, составила 88°C , при этом он считал, что это значение ниже той температуры, с которой глубинная вода поступает в речные отложения.

Суммарный дебит источников, измеренный с помощью гидрометрической вертушки ГР-21м, составил 1,4 л/с, но его действительная величина больше, поскольку происходит инфильтрация разгружающихся термальных вод в аллювиальные отложения.

В настоящее время для лечения источник Их-Онон используется только в зимний период, так как в теплое время года многочисленные болота делают местность практически недоступной. Здесь, на высокой террасе левого берега, для отдыхающих после ванн людей построен большой дом, в котором могут разместиться до 60 человек.

При обследовании были отобраны пробы воды из выходов с контрастной температурой (86 и 11°C) для определения химического состава. Анализы производились в лаборатории гидрогеологии и ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН (общий химический анализ, содержание гелия), в Лимнологическом институте СО РАН (определение микрокомпонентов — ИСП-MS) и в НПФ «Экосервис» (газовый состав).

Из результатов общего химического анализа (табл. 2) видно, что вода левобережного выхода № 12 источника Их-Онон является гидрокарбонатной натриевой с высоким содержанием фтора и кремне-



Рис. 3. Разгрузка гидротерм в русле р. Онон.

Таблица 2

Макрокомпонентный состав воды источника Их-Онон

Дата	T , °C № ист.	pH	Единицы измерения	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ²⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	H ₄ SiO ₄	Минерализация
Выход термальной воды на левом берегу															
28.03.2007	86 № 12	8,85	мг/л %-экв.	2,1 2,2	49,0 92,6	2,0 4,3	0,2 0,9	110,0 62,7	3,6 4,2	10,6 10,4	9,6 19,5	4,0 2,8	0,5 0,4	222 —	414 —
Выход термальной воды на правом берегу															
28.03.2007	11 № 24	6,70	мг/л %-экв.	0,7 2,2	6,5 31,1	9,0 50,0	1,8 16,7	50,0 84,5	0,0 0,0	3,0 5,2	1,0 5,2	2,0 4,1	0,5 1,0	46,0 —	121 —

Примечание. Прочерк — данный компонент не измерялся в %-экв.

кислоты. По этим показателям она однотипна с термальными водами известных курортов «Былыра» и «12 ключей», расположенных в Забайкальском крае (Россия), а также с источником Ероо, разгружающимся в бассейне р. Селенги на территории Монголии. Все эти источники относятся к одной геологической структуре — Хэнтэй-Даурскому своду.

Вода правобережного выхода № 24 имеет гидрокарбонатный натриево-кальциевый состав. Она значительно разбавлена холодными водами аллювиальных отложений, что проявляется как в значениях pH и общей минерализации, так и в содержании таких индикаторов термальных вод, как фтор и кремнекислота (см. табл. 2).

Авторы [3] указывают на высокое содержание в воде источника Их-Онон нитрат-иона (17 %-экв.), определенное в 1945 г. В последующие годы оно не подтвердилось.

В табл. 3 приведено содержание микрокомпонентов в воде двух опробованных выходов (см. рис. 2, т. 12 и т. 24), а также в пробе воды, отобранной в р. Онон, на глубоком, не промороженном до дна плесе, в 15 км ниже по течению. Отчетливо видно, что микрокомпоненты можно условно разделить на три группы по степени их зависимости от температуры воды источника, а следовательно, от глубины формирования состава последней.

К первой группе следует отнести элементы, содержание которых резко падает при снижении температуры: бор, скандий, галлий, германий, мышьяк, бром, йод, молибден, кадмий, вольфрам, а также редкие щелочи — литий, рубидий, цезий.

Во вторую группу входят элементы, концентрация которых практически не зависит от температуры воды: стронций, ванадий, хром, цинк, олово, свинец.

Третью группу формируют такие компоненты химического состава воды, поступление которых никак не связано с глубинным источником. С понижением температуры воды их содержание заметно возрастает. К этой группе относятся марганец, кобальт, никель, медь, серебро, барий.

Таблица 3

Содержание микрокомпонентов в воде источника Их-Онон, мкг/л

Элемент	Источник Их-Онон		р. Онон, 15 км ниже вы- хода гидротерм	Элемент	Источник Их-Онон		р. Онон, 15 км ниже вы- хода гидротерм
	$T = 86$ °C	$T = 11$ °C			$T = 86$ °C	$T = 11$ °C	
Li	458,0	44,0	6,0	Br	22,0	9,4	9,2
B	134,0	16,0	10,0	Rb	38,0	3,1	0,6
Sc	18,0	2,6	1,6	Sr	49,0	44,0	41,0
V	0,11	0,13	0,08	Mo	7,9	1,3	0,68
Cr	5,6	5,2	5,3	Ag	0,04	0,8	0,78
Mn	3,5	23,0	72,0	Cd	1,02	0,1	0,16
Co	0,05	0,09	0,19	Sn	0,22	0,2	0,24
Ni	0,55	0,73	0,89	I	2,6	0,91	1,2
Cu	3,0	3,1	3,7	Cs	52,0	2,2	0,04
Zn	12,0	10,0	15,0	Ba	7,4	11,0	12,0
Ga	6,6	0,05	0,03	W	79,0	4,0	0,08
Ge	5,1	0,44	0,02	Pb	13,0	13,0	13,0
As	12,0	2,0	0,71				

Аналогичные закономерности сочетания микрокомпонентов выявлены нами при анализе вод термального источника Шивэрт, приуроченного к Хангайскому неотектоническому сводовому поднятию, геолого-тектонические условия которого сходны с Хэнтэй-Даурским сводом.

Расчет температур гидротерм Их-Онон на глубине их формирования произведен по методу кремниевое геотермометра, который широко применялся для термальных вод Монголо-Байкальского региона [5–7]. Для расчета использовалась эмпирическая формула, предложенная в работе [8]:

$$t_{\text{гл. форм}} = \frac{1522}{5,75 - \lg \text{SiO}_2} - 273,15, \quad (1)$$

где $t_{\text{гл. форм}}$ — температура воды на глубине формирования, °C; SiO_2 — концентрация в воде диоксида кремния, мг/л.

Расчет $t_{\text{гл. форм}}$ для источника Их-Онон:

$$t_{\text{гл. форм}} = \frac{1522}{5,75 - \lg 139} - 273,15 = \frac{1522}{5,75 - 2,14} - 273,15 = \frac{1522}{3,61} - 273,15 = 421,61 - 273,15 = 148,46 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2)$$

Значение глубины формирования гидротерм было определено путем деления глубинной температуры на величину геотермического градиента [9]. По данным, приведенным в цитируемой работе для этой территории, последняя принята равной 27 °C/км. В результате расчеты показали, что гидротермы источника Их-Онон формируются на глубине 5,5 км, в то время как среднее значение, полученное для Байкальской рифтовой зоны, составляет 3,9 км [5].

Долю глубинной (мантийной) составляющей в минеральных водах можно приближенно оценить с помощью изотопного отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$, обычно обозначаемого символом R . Значения R (с поправкой на контаминацию атмосферным воздухом) для источника Их-Онон были определены в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург). Их величины составили $3,97 \cdot 10^{-8}$ и $3,21 \cdot 10^{-8}$ для выходов с температурой воды 56 и 86 °C соответственно.

Для расчета доли мантийной составляющей в общем объеме выделяющегося гелия использовалась эмпирическая формула из работы [10].

$$He_m = 12,5 \frac{R_{\text{пробы}}}{R_a}, \quad (3)$$

где He_m — доля мантийного гелия, %; $R_{\text{пробы}}$ — $^3\text{He}/^4\text{He}$ в исследуемой пробе; R_a — $^3\text{He}/^4\text{He}$ в атмосферном воздухе, равно $1,4 \cdot 10^{-6}$.

Подставив в указанную формулу значения R для источника Их-Онон, получим значения доли мантийного гелия $He_m = 0,3\text{--}0,4 \text{ } \%$.

Абсолютное содержание гелия в термах источника Их-Онон составило $1,93 \cdot 10^{-3}$ мл/л, что в 37,1 раза выше атмосферного фона ($5,2 \cdot 10^{-5}$ мл/л) [11], а это свидетельствует о приуроченности к зоне глубинного разлома. Необходимо отметить, что существующая обратная зависимость между абсолютным содержанием гелия в газовом составе минеральных вод и величиной R свидетельствует о коровой природе повышенных концентраций гелия.

Как и во всех термальных источниках Хэнтэй-Даурского свода, среди газов здесь преобладает азот (90 об. %). Можно отметить и довольно высокое содержание водорода в свободном газе (5 об. %).

В 5 км к северо-востоку от источника Их-Онон расположен источник Бага-Онон («Бага-Халуный-Аршан») (в переводе с монгол. «бага» — «малый»), который упоминается в монографии [3]. К сожалению, по техническим причинам опробовать его не удалось, но, судя по аналогии химического состава, довольно высокой температуре (73 °C) и приуроченности к той же тектонической зоне, он представляет собой дериват источника Их-Онон («их» — «большой»). Оба источника составляют очаг разгрузки гидротерм Халуун-Ус (в переводе с монгол. — «горячая вода»), который является самым высокотемпературным на всей территории Хэнтэй-Даурского свода. Выходы гидротерм связаны с зоной пересечения разломов, один из которых имеет субширотное простирание, а второй — северо-восточное. Район источника сложен гранитами герцинского возраста.

В настоящее время в пределах Хэнтэй-Даурского свода известно всего 15 источников термальных вод (10 — на территории России и 5 — в Монголии). К ним относятся источники Ероо (43 °C), Былыра (42 °C), Кыринский зимний (43 °C), Семиозерский (36 °C) и др. Гидротермы данной территории имеют гидрокарбонатный натриевый состав, что соответствует былыринскому типу, характерному для данной территории. В составе воды отмечены повышенные содержания таких элементов, как кремний, фтор, вольфрам, галлий, германий, типоморфных для азотных терм [12]. Их суммарный дебит составляет около 20 л/с и занимает ничтожно малую долю в общем объеме речного стока, но в опреде-

ленные фазы водного режима (зимняя межень) гидротермы полностью обеспечивают расход воды рек, в долинах которых расположены их выходы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хэнтэй-Даурский свод, разделенный государственной границей между Россией и Монголией, относится к провинции азотных термальных вод.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что наиболее высокотемпературный термальный источник данной территории — Их-Онон — связан с зоной глубинного разлома, что подтверждается высоким содержанием растворенного гелия. Высокая температура воды обусловлена особыми структурно-гидрогеологическими условиями в зоне тектонического нарушения, где отмечается сочетание факторов, благоприятствующих поступлению инфильтрующихся вод к источнику тепла и препятствующих охлаждению терм, поднимающихся к поверхности. Температура на глубине формирования, рассчитанная с помощью кремниевого геотермометра, составила 148 °С. Значение глубины формирования оценено в 5,5 км. Доля мантийной составляющей в суммарном количестве растворенного гелия составила 0,3–0,4 %, что свидетельствует о преимущественно коровом генезисе этого газа.

Описанное проявление термальных вод Их-Онон представляет собой один из наиболее горячих источников Центральной Азии. Кроме несомненной бальнеологической ценности, он является уникальным природным памятником и, следовательно, нуждается в охране от истощения и загрязнения.

Хотя в настоящее время источник используется в лечебных целях только в зимний период, а дальнейшее развитие инфраструктуры курорта сдерживается крайней труднодоступностью и удаленностью от основных населенных пунктов, объект весьма перспективен для организации здесь круглогодичного санатория, тем более необходимого для местного населения из-за отсутствия в восточной части Монголии других проявлений термальных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Геохимия** подземных минеральных вод Монгольской Народной Республики / Отв. ред. Е.В. Пиннекер. — Новосибирск: Наука, 1976. — 78 с.
2. **Писарский Б.И., Намбар Б., Арьяадагва Б.** Карта минеральных вод Монголии. М-б 1:2 500 000. — Улан-Батор: Изд-во Гос. Упр. Геодезии и картографии Монголии, 2003. — 1 л.
3. **Маринов Н.А., Попов В.Н.** Гидрогеология МНР. — М.: Гостоптехиздат, 1963. — 449 с.
4. **Намнандорж О., Цэрэн Ш., Нямдорж Ө.** БНМАУ-ын рашаан (Аршаны МНР, на монгольском языке). — Улаанбаатар: УХГ, 1966. — 468 х.
5. **Голубев В.А.** Тепловые и химические характеристики гидротермальных систем Байкальской рифтовой зоны // Советская геология. — 1982. — № 10. — С. 100–108.
6. **Писарский Б.И.** Закономерности формирования подземного стока в бассейне оз. Байкал. — Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1987. — 157 с.
7. **Бадминов П.С., Ганчимэг Д., Оргильянов А.И., Крюкова И.Г., Оюунцэцэг Д.** Оценка глубинных температур термальных источников Хангая и Восточного Саяна с помощью гидрохимических геотермометров // Вестн. Бурят. ун-та. — 2011. — Вып. 3. Химия и физика. — С. 90–94.
8. **Fournier R.O.** Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems // Geothermics. — 1977. — Vol. 5. — P. 41–50.
9. **Лысак С.В., Дорофеева Р.П.** Термальное состояние литосферы в Монголии // Геология и геофизика. — 2003. — Т. 44, № 9. — С. 929–941.
10. **Лысак С.В., Писарский Б.И.** Оценка теплового потока по изотопам гелия в газовом составе подземных вод Байкальской рифтовой зоны и окружающих районов // Вулканология и сейсмология. — 1999. — № 3. — С. 45–55.
11. **Писарский Б.И., Ганчимэг Д.** Газовый состав подземных минеральных вод Монголии. — Иркутск: Институт земной коры, 2007. — 107 с.
12. **Замана Л.В.** Типоморфные элементы и глубинные температуры азотных терм Баргузинской и Баунтовской групп (БРЗ) // Рифтогенез, орогенез и сопутствующие процессы. Мат-лы симпозиума, посвященного 90-летию Н.А. Логачева. — Иркутск: Изд-во Ин-та земной коры СО РАН, 2019. — С. 68–70.

Поступила в редакцию 10.02.2022

После доработки 17.05.2022

Принята к публикации 28.12.2022