

Ю. ХЕЙНСАЛУ, А. КУПЦОВ

ОБ ИНФИЛЬТРАЦИОННО-ИНФЛЮАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ КАРСТОВЫХ ФОРМ ЭСТОНСКОЙ ССР

Для Северо-Эстонского плато и островов Сааремаа и Хийумаа, где коренные породы сложены силурийскими и ордовикскими известняками и доломитами, характерно широкое распространение поверхностных карстовых форм различного генезиса (Хейнсалу, 1959). Наиболее часто встречаются коррозионно-суффозионные ложбины, воронки и котловины, расположенные небольшими группами. Коррозионные и коррозионно-провальные формы встречаются только на некоторых альварных участках. Карстующиеся породы обычно покрыты чехлом четвертичных отложений мощностью не более 5 м. Несмотря на генетическое разнообразие, многим отрицательным формам карстового рельефа свойственно интенсивно поглощать поверхностные воды. В связи с этим их целесообразно классифицировать по гидрографическому признаку, а именно, карстовые воронки, котловины, ложбины: 1) на месте подземных русел карстовых водотоков, 2) в «слепых» долинах, где исчезают постоянные и временные ручьи и реки, 3) на водораздельных участках, где отсутствует постоянная гидрографическая сеть и процесс водопоглощения поверхностных вод карстом наблюдается только в период снеготаяния и обильных дождей. Особое место в карстовых районах занимают обширные депрессии площадью от нескольких до 100 и более гектаров, имеющие плоское дно, где наблюдаются десятки карстовых ложбин и воронок. Они периодически затопляются и служат вмещателями временных карстовых озер, например, в окрестностях пос. Тамсалу, Ярва-Яани и др.

Подземные реки и водопоглощение карстом в Эстонии известны давно, и это нашло широкое применение в практике осушения земель (Eichwald, 1852; Schmidt, 1858; Lillemaa, 1938 и др.). Однако количественные и качественные стороны этого процесса в литературе освещены недостаточно.

Исходя из большого практического и теоретического значения данных о гидрологии карста, авторы настоящей статьи в течение ряда лет проводили полевые геологические и гидрологические работы на всех крупных карстовых полях и многих карстовых участках с целью установить максимальные или близкие к ней величины инфильтрации или инфлюации поверхностных вод и выяснить их связь с характером карстовых форм (рисунок).

Сложное геологическое строение карстовых участков не позволило с достаточной точностью определить отдельно их инфильтрационную и инфлюационную способность; как правило, инфильтрация и инфлюация наблюдаются здесь одновременно и дифференцированная



Схема пунктов инструментальных измерений расходов водопоглощения на карстовых участках. Коренные породы: 1 — терригенные породы кембрия и ордовика, 2 — карбонатные породы ордовика и силура, 3 — терригенные породы девона. Водопоглощающая способность: 4 — более 1000 л/с; 5 — 100—1000 л/с; 6 — 10—100 л/с.

оценка этих явлений требует специальных исследований. Поэтому их суммарная величина в последующем будет определена термином водопоглощающая способность.

Водопоглощающая способность каждой отдельной карстовой формы или карстового участка в целом обуславливается совокупностью многих одновременно действующих факторов и со временем может изменяться. Определяющим фактором является степень закарстованности коренных пород. При этом главное значение имеют количество, размеры и характер понор, а не воронок и ложбин. Весьма часто «гнездо», состоящее из 1—3 небольших воронок, имеет более значительную водопоглощающую способность, чем участки с большим количеством карстовых форм.

В Эстонской ССР карстовые воронки имеют 1—5 понор, а большие котловины — до десяти и более; их суммарное количество на участках поглощения поверхностных вод достигает иногда нескольких десятков. Поноры могут быть открытыми и закрытыми. Открытые поноры имеют щелеобразную форму, их ширина изменяется от нескольких сантиметров до 0,5 м при длине — 0,1—5,0 м. Они развиты по трещинам наложения коренных пород или по вертикальным трещинам разлома. Через открытые поноры поверхностные воды непосредственно инфлюируются в подземные полости. Закрытые поноры по данным раскопок и шурфов имеют такие же размеры, что и открытые. Как правило, они перекрыты слоем плохо отсортированных четвертичных отложений — песком, гравием, валунами мощностью до 1,5 м. На месте закрытых понор водопоглощение осуществляется путем инфильтрации.

Встречаются участки, обладающие значительной водопоглощающей способностью, несмотря на то что карбонатные породы перекрыты здесь чехлом глинистой морены мощностью 3—5 м и карстовые воронки имеют глубину 1—2 м. Как показали раскопки, в морене под такими воронками промыты ходы шириной до 10 см, выходящие к карстовым каналам в коренных породах. Однако такие водные пути неустойчивы

и могут легко закупориваться, резко уменьшая водопоглощающую способность воронок.

Временно уменьшают водопоглощение мелкие провалы и проседания на дне воронок, смерзание четвертичных отложений, перекрывающих поноры, а также смерзание льда и снега после незначительных оттепелей. Последнее объясняет, почему в начале весны инфильтрация и инфлюация многих воронок и котловин незначительна, а через 3—10 дней после начала таяния резко увеличивается.

В результате мелиоративных работ, особенно интенсивно проводимых в последние 20 лет, многие воронки и котловины частично или полностью заполнились песчано-глинистым и торфянистым материалом, внесенным сюда водами канализированных водотоков. Это привело к уменьшению водопоглощающей способности карстовых участков, где воронки и котловины служат водоприемниками дренажных вод.

В зависимости от величины максимального водопоглощения, карстовые участки можно разделить на четыре категории (табл. 1).

Таблица 1

**Классификация карстовых участков по величине
максимального водопоглощения**

| Класс | Категория водопоглощающей способности | Максимальное водопоглощение, л/с |
|-------|---------------------------------------|----------------------------------|
| I | Очень большая | >1000 |
| II | Большая | 100—1000 |
| III | Средняя | 10—100 |
| IV | Малая | <10 |

На территории Северо-Эстонского карстового округа (Гвоздецкий, 1972) к настоящему времени обнаружено 4 карстовых участка, максимальное водопоглощение которых превышает 1 м³/с (табл. 2). Они расположены на значительных по площади карстовых полях Ухаку, Костивере, Ката и Салайыги (Хейнсалу, 1970, 1975; Heinsalu, 1958, 1977). По данным гидрологических расчетов, по-видимому, к I классу может быть отнесен и карстовый участок Калья у д. Яуни на о-ве Сааремаа. Расход ручья, исчезающего здесь в цепи карстовых воронок и понор, которых более 20, не был инструментально измерен из-за сильных разливов ручья в период максимальной водности. Однако во время осеннего максимума 1979 г. только в двух первых карстовых воронках на пути русла поглощались все воды ручья Калья расходом в 220 л/с; в конце весны 1967 г. здесь был измерен расход в 380 л/с.

Участки поглощения I класса связаны с хорошо развитыми подземными руслами относительно крупных по величине водосбора рек, воды которых на участке частично или полностью поглощаются. Так, площадь водосбора р. Йыэляхтме в створе карстового поля Костивере составляет 320 км², р. Эрра в створе карстового поля Ухаку — 144 км², р. Тухала в створе карстового поля Ката — 100 км², р. Салайыги — 56 км² и ручья Калья у д. Яуни — 37 км². Воды этих рек исчезают в карстовых котловинах сложной формы длиной до 300 м и глубиной 2—5 м и в карстовых воронках, расположенных цепью вдоль русла. Преобладают воронки округлой формы диаметром до 15 м и глубиной 1,5—4,0 м. Цепь карстовых воронок, как правило, кончается самой большой из них или котловиной. В маловодные периоды, на реках Тухала и Калья эта котловина остается сухой, а в период половодий и паводков, когда расход водотока превышает водо-

Таблица 2

Максимальная водопоглощающая способность карстовых участков

| Номер на рисунке | Карстовое поле (1—6, 8, 23, 25) или участок (7, 9—22, 24, 26—34) | Административный район | Водопоглощающая способность, л/с | Дата измерения | Класс по табл. 1 |
|------------------|--|------------------------|----------------------------------|----------------|------------------|
| 1 | Костивере | Харьюский | 5500 | 23/IV 77 | I |
| 2 | Ката | Харьюский | 3600 | 11/IV 79 | I |
| 3 | Салайыз | Хаапсалуский | 2200 | 08/IV 76 | I |
| 4 | Ухаку | Кохтла-Ярвеский | 1300 | 20/IV 77 | I |
| 5 | Куйвайыз | Харьюский | 870 | 20/IV 76 | II |
| 6 | Кюдема | Кингисеппский | 770 | 10/IV 79 | II |
| 7 | Кууми-Пелисоо | Кингисеппский | 600 | 09/IV 79 | II |
| 8 | Верноя | Раквереский | 339 | 16/IV 76 | II |
| 9 | Кууми | Кингисеппский | 270 | 09/IV 79 | II |
| 10 | Турвасте | Харьюский | 264 | 15/IV 77 | II |
| 11 | Удрику | Раквереский | 256 | 18/IV 76 | II |
| 12 | Калму | Кингисеппский | 250 | 09/IV 79 | II |
| 13 | Паяка | Раплаский | 250 | 26/IV 76 | II |
| 14 | Мяэ | Кингисеппский | 210 | 09/IV 79 | II |
| 15 | Васаристи | Харьюский | 200 | 13/IV 76 | II |
| 16 | Калина | Кохтла-Ярвеский | 185 | 17/IV 76 | II |
| 17 | Пийра | Раквереский | 180 | 19/IV 77 | II |
| 18 | Мярьямаа | Раплаский | 170 | 28/IV 77 | II |
| 19 | Люзинги | Пайдеский | 161 | 04/V 75 | II |
| 20 | Оанду | Раплаский | 140 | 15/IV 76 | II |
| 21 | Кырвекюла | Раквереский | 140 | 21/IV 77 | II |
| 22 | Куксема | Пайдеский | 136 | 18/IV 70 | II |
| 23 | Вяэна | Харьюский | 127 | 24/IV 69 | II |
| 24 | Куревере | Харьюский | 125 | 14/IV 77 | II |
| 25 | Сяэскюла | Пайдеский | 104 | 04/V 75 | II |
| 26 | Куйвайыз | Раквереский | 102 | 28/IV 76 | II |
| 27 | Курсоо | Раквереский | 102 | 18/IV 76 | II |
| 28 | Хагери | Раплаский | 100 | 15/IV 76 | III |
| 29 | Палмсе | Раквереский | 100 | 13/IV 76 | III |
| 30 | Колю | Харьюский | 92 | 12/IV 67 | III |
| 31 | Аравете | Пайдеский | 91 | 22/IV 77 | III |
| 32 | Туйу | Кингисеппский | 87 | 10/IV 79 | III |
| 33 | Таебла | Хаапсалуский | 63 | 10/IV 77 | III |

поглощающую способность остальных карстовых воронок цепи, интенсивно поглощает воду.

В период, когда расход реки больше максимально возможного водопоглощения карстового участка, вода заполняет все впадины и котловины, которые имеются на карстовых полях Ухаку, Костивере и Ката, и течет по поверхностному руслу. Разность между расходом реки до области поглощения и в поверхностном русле характеризует величину максимальной водопоглощающей способности карстовых форм на участке и одновременно пропускную способность подземного русла карстовой реки. Как видно из табл. 2, максимальное водопоглощение, равное $5,5 \text{ м}^3/\text{с}$, зарегистрировано на Костивереском карстовом поле. Такая же пропускная способность характерна для подземного русла р. Йыэляхтме на участке длиной примерно в 1,4 км.

Карстовых участков, которые можно отнести по величине водопоглощения ко II классу, насчитывается более 20. По морфометрии карстовых образований они отличаются от участков I класса несколько меньшими размерами воронок и котловин и меньшим их количеством. Современный карст здесь часто связан со «слепыми» долинами, в которых исчезают временные, редко постоянные водотоки.

Один из наибольших участков поглощения II класса находится на карстовом поле Куйвайыэ, где воды р. Куйвайыги исчезают в котловине шириной до 100 м и глубиной 4 м. Кроме того, вдоль русла реки расположено более 10 мелких карстовых воронок и ложбин.

Большие карстовые участки, где исчезают реки и ручьи, обнаружены также в пос. Хагери Раплаского района, у с. Куксема Пайдеского района, у с. Набала Харьюского района и у болота Пелисоо Кингисепского района. Количество карстовых воронок на этих участках достигает 10—80, а открытых понор всего 3—10.

По величине водопоглощения ко II классу относятся некоторые карстовые участки, на которых расположена всего одна карстовая воронка или котловина, например, в с. Люзинги Пайдеского района, с. Оанду Раплаского района, с. Турвасте Харьюского района и с. Кюдема на о-ве Сааремаа.

Карстовые участки III класса, водопоглощающая способность которых не превышает 100 л/с, имеют обычно одну центральную воронку шириной до 30 м и глубиной до 4 м и несколько небольших воронок и ложбин правильной формы около нее.

По величине водопоглощения к карстовым участкам III класса относятся описанные выше карстовые ложбины, на месте которых образуются временные озера. В период половодья они заполняются поверхностными и подземными водами и затем расходуют ее в течение 2—3 месяцев на испарение и питание подземных карстовых вод. Так, оз. Савалдума вмещает в свое ложе примерно 10^6 м³ воды. Максимальное наполнение ложбины водой происходит в апреле—мае, а высыхает ложбина к июлю—августу (Kildema, Valler, 1959). Таким образом, средний расход за этот период составляет 80—120 л/с, а если учесть испарение с водной поверхности, расход на инфильтрацию и инфильтрацию составит 60—90 л/с.

Своеобразие карстовых участков, связанных с временными карстовыми озерами, заключается в том, что наблюдаемые здесь ложбины являются не только местом поглощения поверхностных вод, но и местом разгрузки подземных вод в период высокого стояния их уровня.

Карстовые участки поглощения IV класса имеют самое широкое распространение. Несмотря на это, их водопоглощающая способность является менее всего изученной. Трудность ее определения заключается прежде всего в том, что участки этого класса не имеют концентрированного руслового притока и поэтому способ измерения расхода воды гидрометрической вертушкой не может быть с успехом применен. Многие участки расположены на пути транзитных водотоков и величину водопоглощения в таких случаях определяют методом разности расходов ручья или реки до и после предполагаемой области поглощения. При расходе водотока более 100 л/с ошибка измерения вертушкой превышает величину водопоглощающей способности карстовых участков IV класса и метод разности поэтому не дает объективных результатов.

Формы и размеры карстовых воронок и ложбин IV класса существенно не отличаются от наблюдаемых на участках поглощения III класса. Малая водопоглощающая способность поверхностных карстовых форм (иногда даже значительных по размерам) обусловлена отсутствием открытых понор, слабой закарстованностью известняков и доломитов, высоким стоянием уровня подземных вод и его малыми уклонами, что затрудняет подземный сток. Часто инфильтрации препятствуют глинистые четвертичные отложения, перекрывающие поноры доледникового происхождения.

Из сказанного можно сделать следующие выводы:

1. Процесс значительного водопоглощения карстом наблюдается на небольших по площади локальных участках, расположенных спорадически по территории Северной и Западной Эстонии.
 2. Водопоглощающая способность карстовых участков обычно менее $0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ и зависит от степени закарстованности карбонатных пород на месте очагов водопоглощения; размеры участков и количество развитых на них поверхностных карстовых форм имеют второстепенное значение.
 3. В дальнейшем следует направить исследования на изучение режима водопоглощения на репрезентативных участках с целью установления влияния карста на питание карстовых подземных вод поверхностными.
- Проведенные нами исследования показали, что участки поглощения поверхностных вод должны быть сохранены в естественных природных условиях, а качество вод, поступающих к очагам водопоглощения, должно строго отвечать санитарным нормам во избежание нарушения водопоглощающих свойств участков и загрязнения подземных вод карбонатного комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

- Гвоздецкий Н. А. Проблемы изучения карста и практика. М., 1972.
- Хейнсалу Ю. И. Карстовые явления четвертичного периода в Эстонской ССР. — Автореф. канд. дисс. Таллин, 1959.
- Хейнсалу Ю. И. Особенности строения и развития карстового участка Ухаку в Северо-Восточной Эстонии. — Изв. АН ЭстССР. Хим. Геол., 1970, 19, 244—251.
- Хейнсалу Ю. Исчезающие реки Северной Эстонии. — Гидрогеол. и картоведение. Пермь, 1975, вып. 6, 103—104.
- Eichwald, E. Dritter Nachtrag zur Infusorienkunde Russlands. — Bull. Soc. Nat. Moscou, 1852, XXV, 388—536.
- Heinsalu, Ü. Kostivere karstiaia. — Loodusuurijate Seltsi Aastaraamat, 1958, 51, 315—328.
- Heinsalu, Ü. Karst ja looduskeskkond Eesti NSV-s. Tln., 1977.
- Kildema, K., Valler, V. Karstinähtustest Savaldumas. — Eesti Loodus, 1959, 4, 275—237.
- Lillemaa, A. Hiiumaa pinnakate ja mullastik. Tartu, 1938.
- Schmidt, F. Untersuchungen über die Silurische Formation von Ebstland, Nord-Livland und Oesel. — Arch. Naturk. Liv-, Ebst- u. Kurl., 1858, Ser. I, 2.

Институт геологии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
9/VI 1980

Эстонское республиканское управление
по гидрометеорологии и контролю
природной среды

Ü. HEINSALU, A. KUPTSOV

EESTI PINDMISTE KARSTIVORMIDE INFILTRATSIOONI-INFLUVIATSIOONIVÕIMEST

Artiklis on käsitletud tingimusi, mis määravad pindmiste karstivormide infiltratsiooni-influviatsioonivõime. Neist peamised on karstitühemete suurus ja hulk ning neeldumiskohtade arv karstilehtrites.

Vaadeldava piirkonna karstialade veeneelamisvõime on enamasti alla $0,3 \text{ м}^3/\text{s}$. Karstialasid, kus neeldumine ulatub üle 1 м^3 sekundis, on 4. Suurima neelamisvõimega on Jõelähtme jõe neeldumisala Kostiveres — $5,5 \text{ м}^3$ sekundis. Karstialasid neelamisvõimega $0,1—1 \text{ м}^3/\text{s}$ on 25.

O. HEINSALU, A. KUPTSOV

INFILTRATION AND INFLUVIATION CAPACITY
OF SURFACE KARST FORMS IN THE ESTONIAN SSR

The present paper deals with the factors determining the infiltration-influviation capacity of surface karst forms on the territory of the Estonian SSR. It has been established that the size and quantity of karst cavities and the number of intake areas in sunk holes are of the greatest importance.

In the region subjected to the studies, the water absorption capacity of karst areas is usually below $0.3 \text{ m}^3/\text{sec}$; in 4 areas, however, it exceeds $1 \text{ m}^3/\text{sec}$. The greatest water absorption capacity is characteristic of the intake area of the Jöelähtme River at Kostivere, where it amounts $5.5 \text{ m}^3/\text{sec}$. In 25 karst areas it is 0.1 — $1 \text{ m}^3/\text{sec}$.