

УДК 556

**Исследование влияния эндогенных геологических факторов на карстово-суффозионные процессы и геодинамический мониторинг \***

Орехов А.А., Дорофеев Н.В.

Закарстованность территорий, задействованных под промышленные и народно-хозяйственные нужды, зачастую приводит к аварийным, либо катастрофическим последствиям. Как показывает практика, подобных осложнений возможно избежать на различных стадиях – от выбора площадки до непосредственной эксплуатации сооружения, применяя специализированные методы инженерно-геологических изысканий (перед строительством) и системы геодинамического мониторинга (в процессе эксплуатации). В данной статье исследовано влияние эндогенных геологических факторов на карстово-суффозионные процессы, среди которых наиболее преобладающим является режим подземных вод, определена степень их влияния на геодинамический мониторинг и обоснована возможность применения геоэлектрического контроля уровня минерализации подземных вод. Выявлено, что основным источником развития карстово-суффозионных процессов является эндогенный фактор – деятельность агрессивных подземных вод, включающая геохимические и гидродинамические факторы.

*Ключевые слова:* геоэлектрический контроль, геодинамический объект, эндогенные факторы, карстово-суффозионные процессы.

**Research of the endogenous geological factors influence on karst-suffusion processes and geodynamic monitoring**

Orekhov A.A., Dorofeev N.V.

Cavernous porosity areas intended for industrial and economic needs often lead to emergency or disastrous consequences. In practice such troubles can be avoided at various stages ranging from the site selection to the immediate maintenance of the facility using specialized engineering - geological techniques ( pre-construction ) and geodynamic monitoring system ( during operation ). The paper deals with the endogenous factors influence on geological karst-suffusion processes, of which the most predominant is the groundwater mode. The extent of their impact on the geodynamic monitoring is determined. The application of geoelectric monitoring for groundwater salinity levels is proved to be feasible. The endogenous factor has been determined as the main source of karst-suffusion processes development which is an aggressive groundwater activity involving geochemical and hydrodynamic factors.

*Keywords:* geoelectric control, geodynamic object, endogenous factors, karst-suffusion processes.

**Введение**

Закарстованные территории занимают существенные площади населённых пунктов и промышленных предприятий. Зачастую это приводит к аварийным либо катастрофическим последствиям. Анализ показывает, что подобных осложнений возможно избежать на различных стадиях – от выбора площадки до непосредственной эксплуатации сооружения, применяя специализированные методы инже-

нерно-геологических изысканий (перед строительством) и системы геодинамического мониторинга (в процессе эксплуатации).

Целью данной статьи является исследование влияния эндогенных геологических факторов на карстово-суффозионные процессы, выявление среди них наиболее преобладающих, а также определение степени их влияния на долговременный геодинамический мониторинг.

\* Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ «14-08-31570-мол\_а».

### Основные эндогенные факторы

Геологические процессы недр Земли и земной поверхности разделяют на экзогенные и эндогенные. Эндогенные геологические процессы протекают за счёт внутренней энергии Земли, возникающей вследствие гравитационной дифференциации земного вещества, а также радиоактивного распада [6].

К эндогенным процессам относят тектонические, магматические, пневматолито-гидротермальные и метаморфические. Под воздействием тектонических процессов формируются структуры земной коры. Результатом воздействия магматических явлений могут служить поверхностные вулканические образования. Метаморфические эндогенные процессы обуславливают изменения в структуре, минеральном и химическом составе пород в условиях высокого давления и температуры. Особыми, с точки зрения влияния на приповерхностную геодинамику, являются гидротермальные процессы. Гидротермы – жидкие горячие водные растворы, циркулирующие в земной коре. Гидротермы движутся по трещинам и пустотам в сторону пониженного давления, т.е. к земной поверхности. Сейсмические эндогенные процессы, проявляющиеся в виде кратковременных толчков и сотрясений, сосредотачиваются в определённых подвижных поясах Земли и на карстово-суффозионные процессы серьёзного влияния не оказывают.

Все описанные эндогенные процессы тесно связаны между собой и под воздействием экзогенных процессов формируют условия развития динамических приповерхностных процессов в земной коре [6].

### Схема влияния эндогенных факторов на карстово-суффозионные процессы

Как известно [5], нестойкие минералы и горные породы (сульфаты, карбонаты и т.п.) легко растворяются в воде, образуя пустоты и отрицательные формы рельефа. Этот процесс называется карстом. Процесс механического

вымывания подземными водами пылевидных частиц из рыхлых пород называется суффозией. Карстово-суффозионные процессы относятся к геодинамическим явлениям и оказывают серьёзное негативное влияние на деятельность человека. Таким образом, основным источником развития карстово-суффозионных процессов является эндогенный фактор – деятельность подземных вод. Однако все эндогенные и экзогенные процессы взаимосвязаны и неразделимы и не могут рассматриваться отдельно друг от друга.

На рисунке 1 показана схема влияния эндогенных факторов на карстово-суффозионные геодинамические процессы.

В работе [4] подробно исследовано влияние режима подземных вод на контроль геодинамических объектов. Там же описана чёткая синхронная зависимость между колебаниями уровня подземных вод и атмосферного давления.

### Мониторинг карстово-суффозионных процессов

В работах, посвящённых процессам карстообразования [5], ведущая роль отводится углекислоте природных вод. Агрессивная углекислота может проникать в толщу закарстованных пород с водами верхних водоносных горизонтов в зоне активного водообмена. Там, где такие условия имеются, будут интенсивно действовать процессы растворения карбонатных пород.

Приближённая оценка агрессивности подземных вод по отношению к гипсам и ангидритам может быть определена по степени насыщенности их гипсом [5]:

$$\varphi = \frac{[Ca] \cdot \varphi_{Ca} \cdot [SO_4] \cdot \varphi_{SO_4}}{LCaSO_4},$$

где  $[Ca]$   $[SO_4]$  – концентрации кальция и сульфата по данным анализа, мол-л;

$\varphi_{Ca}$  и  $\varphi_{SO_4}$  – коэффициенты активности соответствующих ионов;

$LCaSO_4$  – константа произведения растворимости, равная  $6.1 \cdot 10^{-5}$

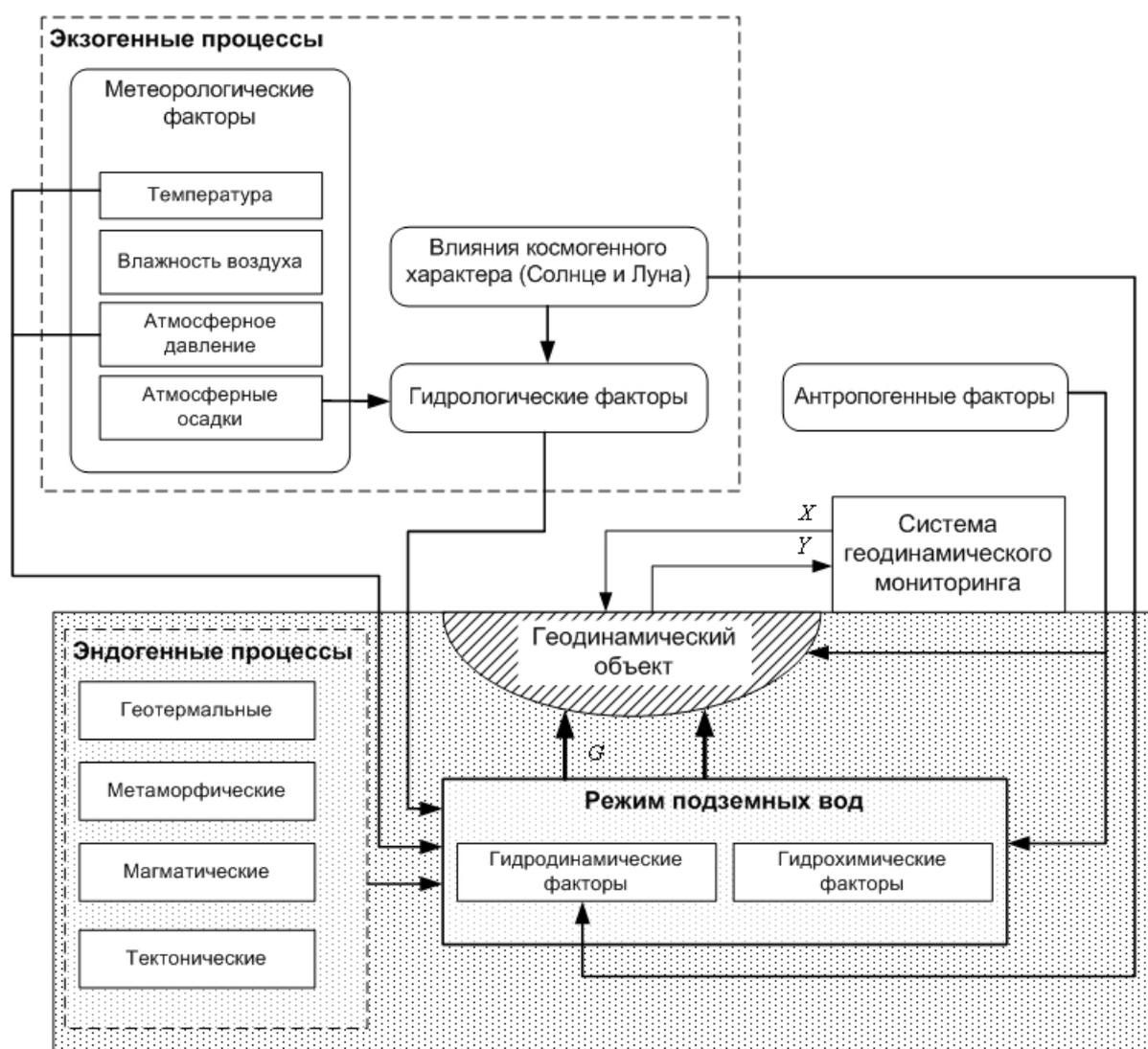


Рис. 1. Схема влияния эндогенных факторов на карстово-суффозионные процессы и геодинамический мониторинг.

При  $\varphi < 0.5$  подземная вода считается агрессивной и, следовательно, вероятность растворения вмещающих пород высока.

Таким образом, по данным о направлении, мощности, расходе и растворяющей способности подземного потока можно с той или иной мерой приближения получить количественное выражение для процесса растворения контролируемых пород.

Зондирующий сигнал  $X$  воздействует на геодинамический объект передаточной функцией  $H$ . Отклик среды  $Y = f(X, H', G_H, \xi)$ , где  $H' = g(H, G_d)$ , а  $G = \{G_H, G_d\}$  – режим

подземных вод, включающий геохимические и гидродинамические факторы соответственно.  $\xi$  – посторонние помехи [1].

В работах [2,3] представлена система для контроля химического состава поверхностных, подземных вод, а также зоны аэрации с применением геоэлектрических методов. Т.е., применяя специализированную аппаратуру и алгоритмы обработки информации, становится возможным оценивать уровень минерализации подземных вод, а, следовательно, и их агрессивность по отношению к вмещающим породам.

### Заклучение

Таким образом, в данной статье исследовано влияние эндогенных геологических факторов на карстово-суффозионные процессы, среди которых наиболее преобладающим является режим подземных вод, определена степень их влияния на геодинамический мониторинг и обоснована возможность применения геоэлектрического контроля уровня минерализации подземных вод.

### Литература

1. Орехов А.А., Кузичкин О.Р. Влияние природных помехообразующих факторов на проведение электромагнитного контроля геодинамических объектов // Радиопромышленность, 2012, №2. – С. 138-147.
2. Орехов А.А. Исследование и разработка программно-аппаратного комплекса для экологического мониторинга поверхностных и подземных вод на базе метода геоэлектрического контроля // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 2013, № 28. – С. 72-77.
3. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Геоэлектрический метод контроля качества водных объектов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2012, №2. – С. 33-35.
4. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Исследование влияния режима подземных вод на контроль геодинамических объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных, 2012, Вып. 3 (21). – С. 47-53.
5. Родионов Н.В. Инженерно-геологические исследования в карстовых районах. – М.: Госгеолтехиздат, 1958. – 186 с.
6. Трухин В.И. Общая и экологическая геофизика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 576 с.

Статья поступила в редакцию 1 марта 2014 г.

Орехов Александр Александрович – старший преподаватель кафедры «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: alexorems@yandex.ru

### References

1. Orekhov A.A., Kuzichkin O.R. Vlijanie prirodnyh pomehoobrazujushhih faktorov na provedenie jelektromagnitnogo kontrolja geodinamicheskikh ob#ektov [The influence of natural factors on noise immunity forming holding of the electromagnetic control of geodynamic objects] // Radiopromyshlennost' [Radioindustry], 2012, №2. – P. 138-147.
2. Orekhov A.A. Issledovanie i razrabotka programmno-apparatnogo kompleksa dlja jekologicheskogo monitoringa poverhnostnyh i podzemnyh vod na baze metoda geojelektricheskogo kontrolja [Research and development of hardware and software system for environmental monitoring of surface water and groundwater based on the method of geoelectric control] // Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta [Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University], 2013, № 28. – P. 72-77.
3. Orekhov A.A., Dorofeev N.V. Geojelektricheskij metod kontrolja kachestva vodnyh ob#ektov [Geoelectric method of quality control water objects] // Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti [Engineering industry and life safety], 2012, № 2. – P. 33-35.
4. Orekhov A.A., Dorofeev N.V. Issledovanie vlijaniya rezhima podzemnyh vod na kontrol' geodinamicheskikh ob#ektov [Investigation of influence of groundwater regime on geodynamic control objects] // Algoritmy, metody i sistemy obrabotki dannyh [Algorithms, methods, and data processing system], 2012, vol. 3 (21). – 47-53.
5. Rodionov N.V. Inzhenerno-geologicheskie issledovaniya v karstovyh rajonah [Engineering and geologic studies in karst areas]. – Moscow: Gosgeoltechizdat 1958. – 186 p.
6. Truhin V.I. Obshhaja i jekologicheskaja geofizika [General and environmental geophysics]. – Moscow: FIZMATLIT 2005. – 576 p.

---

*Дорофеев Николай Викторович* – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: DorofeevNV@yandex.ru

---

*Orekhov Aleksandr Aleksandrovich* – Teacher, Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: alexorems@yandex.ru

*Dorofeev Nikolay Viktorovich* – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: DorofeevNV@yandex.ru

УДК 550.83

### **Использование геофизических методов локализации карстового процесса \***

Романов Р.В., Дорофеев Н.В.

Защита народно-хозяйственных объектов от возможных последствий катастроф, а также контроль геологической среды в процессе эксплуатации промышленных объектов заставляют проводить контроль геодинамических объектов. Целью данной работы является выявление карстовых геодинамических объектов геофизическими методами, в качестве базового используемого метода выбран метод сопротивлений. Данный метод имеет несколько модификаций - это электропрофилирование и электрозондирование. Использование той или иной модификации зависит от задач, территорий и условий проводимого зондирования. В работе также представлены физические основы метода сопротивлений и получаемые первичные результаты электропрофилирования и электрозондирования. Проиллюстрирован на графиках характер связи между кажущимся сопротивлением и строением геологического разреза. Определена зависимость типа кривых электрического зондирования от соотношения параметров слоев в геоэлектрическом разрезе.

*Ключевые слова:* электрическое зондирование, карстовый процесс, геоэлектрический разрез, геодинамический объект.

### **The application of geophysical methods for karst localization process**

Romanov R.V., Dorofeev N.V.

Protection of national economic projects from possible effects of catastrophes as well as the geological environment control in the operation of industrial facilities involves geodynamic objects monitoring. The paper deals with the identification of karst geodynamic objects by means of geophysical methods. Resistance method is chosen as the main one. The method has some modifications such as the electric profiling and the electric sounding. The modification choice depends on the tasks, areas and conditions under sounding. The paper also deals with the physical basis of the resistance method and initial results obtained by electrical profiling and electric sounding. The nature of the relationship between the apparent resistivity and the geological section structure is illustrated in graphs. The electrical sounding curves type dependence on the parameters ratio of geoelectric section layers is determined.

*Keywords:* electric sounding, karst process, geoelectric section, geodynamic object.

\* Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ «14-08-31570 - мол\_а».