

## Особенности формирования водопритоков к месторождению алмазов им. В. Гриба (Архангельская область)

©2020 Л. А. Еланцева<sup>1</sup>, С. В. Фоменко<sup>2✉</sup>

<sup>1</sup>*Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»),  
ул. Победы, 85, 308015, Белгород, Российская Федерация*

<sup>2</sup>*Научно-технический и экспертный центр новых экотехнологий в гидрогеологии и гидротехнике  
(НТЦ «НОВОТЭК»), пр. Б. Хмельницкого, д. 131, 308002, Белгород, Российская Федерация*

### Аннотация

**Введение:** На кимберлитовом месторождении им. В. Гриба принят поверхностный способ отработки, при котором осушению подлежат все водоносные породы над рабочим горизонтом. Фильтрация воды в отработанное пространство осуществляется по бортам карьера по всему периметру, что затрудняет ведение горных работ и может привести к негативным инженерно-геологическим явлениям в карьере (прорыву воды, оползням, обвалам). Основная цель исследований заключается в изучении процессов фильтрации подземных вод при осушении месторождения им. В. Гриба с использованием численного метода моделирования.

**Методика:** Кимберлитовая трубка прорывает осадочные докембрийские отложения и перекрыта толщей среднекаменноугольных и четвертичных отложений. В районе исследований расположены многочисленные реки и озера, сооружено хвостохранилище. Определение источников формирования водопритоков в карьер осуществлялось с помощью разработанной численной геофильтрационной модели, на которой учитывались все элементы дренажной системы, активная взаимосвязь подземных и поверхностных вод, геолого-гидрогеологические особенности месторождения. Расчетная модель состоит из четырех слоев: четвертичный и олмутско-окуневский, урзугско-воереченский, падунский и мезенский комплексы. Фильтрационная задача решалась по программе MODFLOW лицензионного пакета GMS.

**Результаты и обсуждение:** В процессе идентификации модели выявлен характер гидравлической связи водоносной толщи с речными и озерными долинами, определены участки питания и разгрузки водоносных пластов, фильтрационные потери из хвостохранилища Верхотинского ГОКа, установлены источники формирования водопритоков к дренажной системе карьера. Установлено, что водопритоки в карьер формируются за счет подземных вод и атмосферных осадков в зоне с активной гидравлической взаимосвязью подземных и поверхностных водных объектов.

**Заключение:** С использованием численной модели определены основные источники формирования водопритоков в карьер: водоносные комплексы, получающие дополнительное питание из поверхностных водоемов и водотоков, установлена взаимосвязь изучаемого водоносного массива с долинами рек и озер, выявлены места питания и разгрузки исследуемой водоносной толщи, оценены инфильтрационные потери воды из хвостохранилища Верхотинского ГОКа.

**Ключевые слова:** подземные воды, атмосферные осадки, гидравлическая взаимосвязь подземных и поверхностных вод, фильтрационные потери, водопритоки в карьер.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

---

✉ Фоменко Сергей Викторович, e-mail: SVFomenko@rambler.ru

Для цитирования: Еланцева Л. А., Фоменко С. В. Особенности формирования водопритоков к месторождению алмазов им. В. Гриба (Архангельская область) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2020. №4. С. 67–74. DOI: doi.org/10.17308/geology.2020.4/3128

### Введение

Для безопасной и экономически выгодной разработки карьера проводятся гидрогеологические исследования с целью выявления в природных производственных условиях фактических водопритоков из вскрываемых при разработке водоносных горизонтов, изучения их динамического режима в зависимости от природных и горнотехнических условий. Это позволяет при необходимости скорректировать ранее принятые проектные решения, например, мощности оборудования стационарного водоотлива, мощности и размещения дренажных устройств, углов откосов бортов карьера, и почти полностью исключает возможность прорыва воды к участку ведения горных работ, деформации бортов карьеров.

Вскрытие водоносных горизонтов при карьерной разработке месторождения способствует фильтрации воды в выработанное пространство по всему периметру через борта карьера. Обводненность вскрышных пород и пластов полезных ископаемых осложняет ведение горных работ, поскольку создает угрозу внезапного прорыва воды и опасность оползней и обвалов бортов карьера.

Защита карьера от подземных и поверхностных вод осуществляется системой осушения вскрываемых водоносных пластов.

Основными методами изучения процессов фильтрации при решении гидрогеологических задач в области осушения месторождений являются численные методы моделирования [1–17].

### Методика исследований

Кимберлитовая трубка им. В. Гриба прорывает осадочные терригенные породы рифея и венда мощностью 1150 м и сверху перекрыта толщей среднекаменноугольных терригенно-карбонатных пород и рыхлых четвертичных отложений суммарной мощностью 50–80 м (рис. 1) [18–21].

Месторождение приурочено к водоразделу Мегорской озерной системы и рек Падун – Ерна – Сояна. Территория района представляет собой заболоченную и залесенную пологоволнистую равнину, пересеченную речными долинами и осложненную карстовыми воронками, озерными и болотными западинами. Болота вместе с заболоченными участками леса занимают около 65% площади.

Основными реками района являются реки Падун, Кукомка и Волчья, протоки Ерна и Черная. Ширина рек от 5 до 25 м, глубина 0.5–2.0 м, скорость течения 0.2–0.4 м/с, модуль подземного стока около 3 л/с·км<sup>2</sup>.

Вблизи трубки расположены пять крупных озер: Волчья, Мертвое, Черное, Северные и Южные Басурманы и множество небольших озер. Воды озер и рек по химическому составу гидрокарбонатные магниевые

кальциевые с минерализацией 0.2–0.3 г/дм<sup>3</sup>.

В соответствии с принятым поверхностным способом отработки месторождения осушению подвергается вся толща пород, залегающая над рабочим пластом: олмутско-окуневский и урзугско-воереченский водоносные горизонты среднего карбона, падунский и мезенский водоносные комплексы венда.

Олмутско-окуневский водоносный горизонт приурочен к карбонатным породам (известковистые доломиты, доломиты) суммарной мощностью 10–25 м.

Урзугско-воереченский водоносный горизонт распространён в неоднородных по литологическому составу терригенных отложениях (аргиллиты, алевропесчаники, глинистые песчаники и кварцевые песчаники) общей мощностью от 20 до 45 м.

Среднекаменноугольные отложения обладают относительно высокими фильтрационными свойствами: коэффициенты фильтрации 2–10 м/сут и более. Питание горизонтов осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетекания из верхних водоносных горизонтов четвертичного возраста, разгрузка происходит в виде нисходящих линейных и сосредоточенных выходов родников в долине реки Кукомка – озеро Черное. По химическому составу воды гидрокарбонатные магниевые-кальциевые с минерализацией 0.1–0.4 г/дм<sup>3</sup>.

Падунский водоносный комплекс приурочен к песчаникам с прослоями до 0.5 м аргиллитов и алевролитов общей мощностью до 168 м, характеризуется коэффициентом фильтрации в пределах 1.2–1.8 м/сут. В кровле комплекса отмечаются линзовидные прослои алевролитов с прослоями песчаника мощностью до 10–12 м, по которым осуществляется водообмен со среднекаменноугольным водоносным комплексом вертикальным восходящим перетеканием. Активность взаимосвязи зависит от мощности и фильтрационных свойств разделяющих прослоев. Нижним водоупором служит кровля мезенской свиты, сложенная чередованием прослоев аргиллитов и алевролитов.

Питание комплекса обусловлено условиями залегания перекрывающих пород, взаимосвязью со смежными водоносными горизонтами. По мере движения потока в юго-восточном направлении происходит частичная разгрузка подземных вод в местную гидрографическую сеть. Химический состав вод преимущественно гидрокарбонатный магниевый-кальциевый с минерализацией 0.3 г/дм<sup>3</sup>. Между трубкой и озером Черное подземные воды сульфатно-хлоридные натриевые с минерализацией до 3 г/дм<sup>3</sup>, что не характерно для основной площади развития комплекса и связано с локальной разгрузкой подземных вод из нижних гидрогеологических подразделений по приконтактным зонам вдоль восточного края трубки и в палеодолине озера Черное.

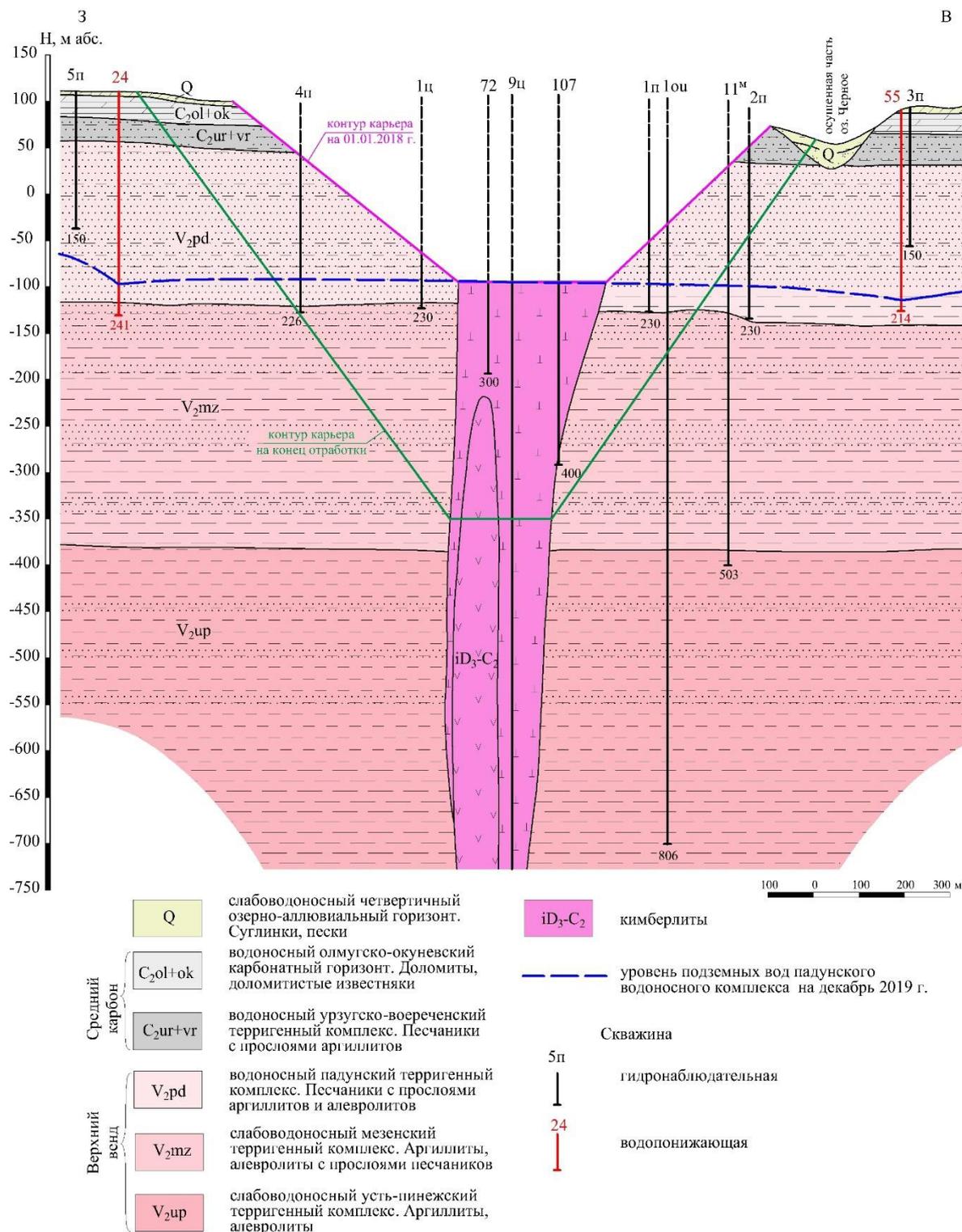


Рис. 1. Гидрогеологический разрез через месторождение алмазов им. В. Гриба.  
[Fig. 1. Hydrogeological cross section through the Grib diamond mine.]

Мезенский слабоводоносный комплекс развит в терригенных отложениях (чередование аргиллитов, алевролитов и песчаников). Водообильность комплекса невысокая: водопроницаемость 5–11 м<sup>2</sup>/сут, коэффициенты фильтрации 0.02–0.04 м/сут. Формирова-

ние подземных вод комплекса происходит под влиянием перетоков из смежных водоносных горизонтов и разгрузки подземных вод в зонах повышенной трещи новатости. По химическому составу воды сульфатно-хлоридные кальциево-натриевые с мине-

рализацией 4,5–5,8 г/дм<sup>3</sup>.

Карьером вскрыты среднекаменноугольные отложения и верхняя часть падунских отложений, вскрытие мезенских пород планируется в ближайшее время.

Водопритоки к дренажной системе карьера формируются за счет подземных вод и атмосферных осадков в зоне с активной гидравлической взаимосвязью между подземными и поверхностными водными объектами.

Осушение карьера осуществляется с применением поверхностного дренажного контура водопонижающих скважин (ВПС), перехватывающего основную часть потока подземных вод за пределами карьера по его контуру. Оставшаяся часть потока подземных вод, попадающая в карьер («проскок»), и атмосферные осадки перехватываются системой карьерного водоотлива. При этом поверхностная система осушения главным образом направлена на защиту карьера от обводнения подземными водами падунского водоносного комплекса, совместно с которым дренируются воды олмугско-окуневского и урзугско-воереченского водоносных горизонтов.

Суммарный объем дренажных вод, откачиваемый ВПС, в настоящее время изменяется в пределах 5000–7000 м<sup>3</sup>/ч, объем дренажных вод, отбираемых системой карьерного водоотлива – 700–1000 м<sup>3</sup>/ч. Общий водоотбор составляет 5900–7600 м<sup>3</sup>/ч.

Источники формирования водопритоков в карьер определялись с помощью численной геофильтрационной модели, учитывающей все основные технологические элементы дренажной системы, расположение месторождения в зоне активного водообмена подземных и поверхностных водных объектов, выявленные геологические и гидрогеологические особенности месторождения.

Водоносная толща пород реализована в расчетной модели как многослойная, состоящая из четырех слоев, отличающихся различными фильтрационными свойствами.

Верхний слой представлен четвертичными озерно-аллювиальными песчано-глинистыми отложениями и карбонатными олмугско-окуневскими образованиями. Ко второму слою отнесены урзугско-воереченские песчаники с прослоями аргиллитов. Третий слой включает падунские песчаники с прослоями аргиллитов и алевролитов. За четвертый слой принят слабОВОдоносный мезенский комплекс, представленный аргиллитами и алевролитами с прослоями песчаников.

В соответствии с проведенной схематизацией гидрогеологические условия района характеризуются нестационарным режимом фильтрации пространственного напорно-безнапорного потока подземных вод в многослойном пласте.

Решение фильтрационной задачи осуществлялось с использованием лицензионной программы MODFLOW системы GMS, реализующей пространственную фильтрацию подземных вод методом конечных разностей в многослойной толще для областей произвольной конфигурации с изменяющимися по известному закону граничными условиями (ГУ) при

наличии фильтрационных неоднородностей в плане и разрезе, инфильтрации (испарения).

Калибровка модели выполнялась методом решения обратной задачи, основной целью которой являлось установление соответствия гидрогеологических процессов, протекающих на изучаемом объекте, их модельным реализациям.

Обратная задача решалась для двух характерных состояний исследуемой гидродинамической системы:

- квазистационарного режима фильтрации подземных вод в период до августа 2012 г.;
- нарушенного режима фильтрации подземных вод в условиях производственного водопонижения за период август 2012 г. – декабрь 2019 г.

Гидродинамическое несовершенство условий питания или разгрузки подземного потока реками учитывалось введением вдоль его русла ГУ III рода с абсолютными отметками уреза воды через дополнительное фильтрационное сопротивление.

Условия питания или разгрузки подземного потока из озер реализовывались на модели ГУ III рода с поддержанием уровня подземных вод на абсолютной отметке, отвечающей отметке фактического заполнения водоема, через дополнительное фильтрационное сопротивление.

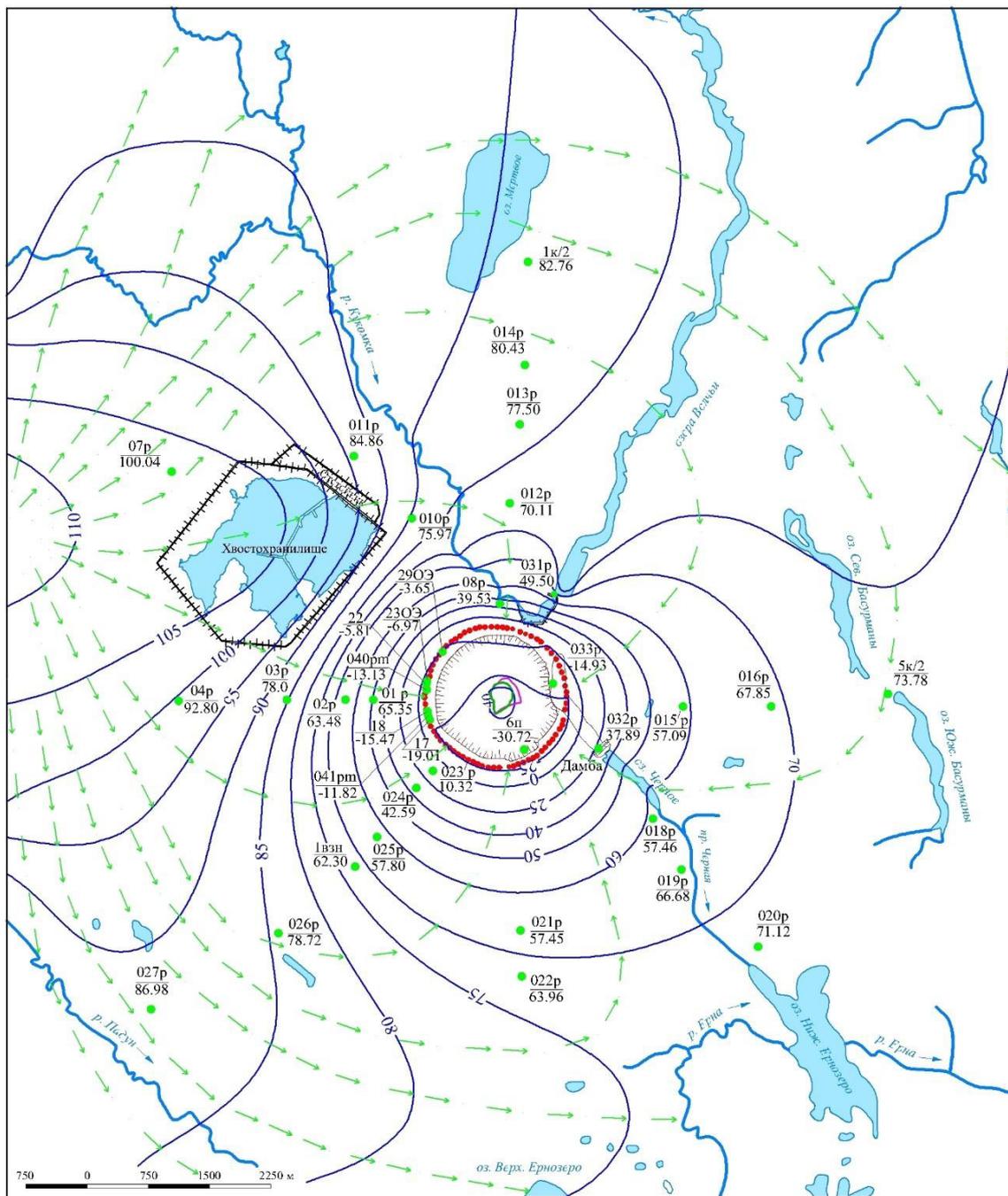
Условия питания подземного потока из хвостохранилища заданы на модели ГУ III рода с поддержанием уровня в прудках на абсолютных отметках, отвечающих средним отметкам фактического заполнения отсеков хвостохранилища за расчетный период, через дополнительное фильтрационное сопротивление.

Определение величины фильтрационного сопротивления в каждом конкретном случае выполнялось с учетом вида несовершенства границы по общепринятой в моделировании методике [22].

Работа водопонижающих скважин реализована на модели ГУ II рода  $Q = f(t)$  в соответствии с фактическими данными о среднем водоотборе скважин за расчетный период с учетом несоответствия размеров водопонижающей скважины и блока сеточной модели [23], изменением фильтрационных свойств горных пород в прифильтровой части скважины [24].

Условия разгрузки подземного потока устройствами карьерного водоотлива (проскок через контур водопонижающих скважин плюс атмосферные осадки) задавались на модели заданием ГУ III рода по абсолютным отметкам, соответствующим абсолютной отметке подошвы вскрытой части отложений, через дополнительное фильтрационное сопротивление, учитывающее высоту высачивания на бортах карьера [1].

Инфильтрационное питание атмосферными осадками в западной части исследуемого района принималось равным 0.0003 м/сут, исходя из подземного стока порядка 20% от среднемноголетней интенсивности атмосферных осадков, равной 570 мм в год, что соответствует 0.0016 м/сут. В восточной части инфильтрационное питание задано величиной 0.001 м/сут (это наиболее заболоченная, осложненная карстом и озерами территория), по площади карьера – 0.0016 м/сут.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- водопонижающие скважины
- гидронаблюдательная скважина :  
в числителе - номер скважины;  
в знаменателе - абс. отм. уровня на  
декабрь 2019 г., м
- контур карьера  
по поверхности
- контур карьера  
по дну
- контур рудного тела
- 75 — модельный уровень подземных вод
- линии тока и направление  
потока подземных вод

Рис. 2. Распределение уровней подземных вод падуновского водоносного комплекса (по результатам решения обратной задачи).  
[Fig. 2. Distribution of groundwater levels of the Padunsky aquifer complex (based on the results of the inverse problem solving).]

**Результаты исследований**

В процессе идентификации модели выявлен характер гидравлической связи водоносного комплекса с поверхностными водами рек и озер, определены участки питания и разгрузки водоносных пластов, потери на

фильтрацию из хвостохранилища Верхотинского ГОКа (рис. 2).

На основании результатов исследований установлено, что северная, южная и восточная внешние границы являются областью разгрузки подземных вод, за

пределы исследуемой области разгружается порядка 4300 м<sup>3</sup>/ч подземных вод. Западная граница служит областью питания водоносной толщи, с нее поступает 3000 м<sup>3</sup>/ч подземных вод.

В реки Падун, Ерна верхнюю часть реки Кукомка разгружается 1800 м<sup>3</sup>/ч подземных вод. Инфильтрационные потери из нижней части реки составляют 1000 м<sup>3</sup>/ч.

Разгрузка подземных вод в северную часть озер Волчьих достигает 300 м<sup>3</sup>/ч. Инфильтрационные потери из южной части озер не превышают 1100 м<sup>3</sup>/ч.

Потери на фильтрацию из озер Черное, Северные и Южные Басурманы составляют около 700 м<sup>3</sup>/ч. В Ернозеро разгружается свыше 100 м<sup>3</sup>/ч подземных вод.

Фильтрационные потери из хвостохранилища превышают 2000 м<sup>3</sup>/ч.

### Заключение

Определены источники формирования водопритоков в карьер: олмутско-окуневский и урзугско-воереченский водоносные горизонты, падуновский и в перспективе мезенский водоносные комплексы, получающие дополнительное питание из рек, озер и хвостохранилища Верхотинского ГОКа, с использованием численной модели.

При идентификации численной фильтрационной модели установлена гидравлическая связь исследуемой водоносной толщи с речными и озерными долинами, определены участки питания и разгрузки водоносных пластов, фильтрационные потери из хвостохранилища Верхотинского ГОКа.

Вблизи трубки им. В. Гриба расположены три реки (Падун, Кукомка и Волчьих), две протоки (Ерна и Черная), пять крупных озер (Волчьих, Мертвое, Черное, Северные и Южные Басурманы) и множество небольших озер.

Реки в основном дренируют подземные воды, в них разгружается 1800 м<sup>3</sup>/ч. Лишь р. Кукомка в нижнем течении питает водоносные пласты, инфильтрационные потери из нее не превышают 1000 м<sup>3</sup>/ч.

Озера, как правило, являются областью питания водоносной толщи. Потери на фильтрацию из озер достигают 1700 м<sup>3</sup>/ч. Разгрузка подземных вод осуществляется только в северную часть озер Волчьих и Ернозеро в объеме 400 м<sup>3</sup>/ч.

*Конфликт интересов:* Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гавич И. К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. М.: Недра, 1980. 358 с.
2. Жернов И. Е., Шестаков В. М. Моделирование фильтрации подземных вод. М.: Недра, 1971. 226 с.
3. Ломакин Е. А., Мироненко В. А., Шестаков В. М. Численное моделирование геофильтрации. М.: Недра, 1988. 228 с.
4. Лукнер Л., Шестаков В. М. Моделирование геофильтрации. М.: Недра, 1976. 407 с.
5. Anderson M. P., Woessner W. W. In Applied Groundwater Modeling. San Diego: Academic Press, 2015. 564 p.
6. Barenblatt G. I., Entov V. M., Ryzhik V. M. Theory of Fluid Flows Through Natural Rocks (Theory and Applications of

Transport in Porous Media #3). Springer 1st ed. softcover of. Germany, 2011. 412 p.

7. Bastian P., Kraus J., Scheichl R., Wheeler M. Simulation of Flow in Porous Media Applications in Energy and Environment. Germany: Walter de Gruyter, 2013. 222 p.

8. Beale G. Hydrogeological model. In: Guidelines for Open Pit Design. (Eds J Read & P Stacey) Melbourne: CSIRO Publishing, 2010. P. 141–199.

9. Depner J. S., Rasmussen T. C. Hydrodynamics of Time-Periodic Groundwater Flow – Diffusion Waves in Porous Media. Wiley AGU, 2017. 324 p.

10. Hazzard J., Damjanac B., Lorig L., Detournay C. Guidelines for groundwater modelling in open pit mine design. In: Slope Stability 2011. Vancouver, Canada, (Eds E Eberhardt & D Stead), Canadian Rock Mechanics Association, 2011. P. 114–126.

11. Jadwiga R. Z., Jeffrey M. P. Competition for water resources. Experiences and Management Approaches in the US and Europe. St. Paul, Minnesota. Elsevier, 2016. 460 p.

12. Sahimi M. Flow and Transport in Porous Media and Fractured Rock. 2nd edition, Wiley, 2011. 709 p.

13. Smith L. Hydrogeology. Encyclopedia of Physical Science and Technology (third Edition). Vancouver, BC, Canada, University of British Columbia, 2015. 406 p.

14. Su Y., Davidson J.H. Modeling Approaches to Natural Convection in Porous Media. Cham; Heidelberg; New York; Dordrecht; London, Springer, X, 2015. 47 p.

15. Szymkiewicz A. Modelling Water Flow in Unsaturated Porous Media: Accounting for Nonlinear Permeability and Material Heterogeneity, 2014. 237 p.

16. Xing Zhang, David J. Sanderson. Numerical Modelling and Analysis of Fluid Flow and Deformation of Fractured Rock Masses. London, UK., PERGAMON An Imprint of Elsevier Science. Imperial College of Science, Technology and Medicine University of London, 2002. 288 p.

17. Zekai Sen. In Practical and Applied Hydrogeology. Oxford, Elsevier, 2015. 406 p.

18. Богатиков О. А., Гаранин В. К., Кононова В. А. и др. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). М.: МГУ, 1999. 524 с.

19. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 555 с.

20. Еланцева Л. А., Зайцев Д. А., Фоменко С. В. Применение горизонтальных дренажных скважин для осушения прибортового массива в карьере месторождения алмазов им. В. Гриба. *Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ–РГГРУ): материалы Международной научно-практической конференции.* Москва: Издательство НПП «Фильтроткани», 4–6 апреля 2018. С. 230–231. URL: <http://mgri-rggru.ru/science/konf/docs/tom2.pdf#4> (дата обращения: 19.10.2020).

21. Еланцева Л. А., Зайцев Д. А., Фоменко С. В. Гидрогеологические прогнозы в целях осушения месторождения алмазов им. В. Гриба // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.* 2019. Т. 330, № 7. С. 53–61. DOI: 10.18799/24131830/2019/7/2176.

22. Бочевер Ф. М., Гармонов И. В., Лебедев А. В., Шестаков В. М. Основы гидрогеологических расчетов. М.: Недра, 1969. 368 с.

23. Топчий Г. Е. Методическое пособие по применению сеточных электроинтеграторов для решения задач неустановившейся фильтрации подземных вод. Белгород: ВИОГЕМ, 1971. 56 с.

24. Фисун Н. В., Ленченко Н. Н. Динамика подземных вод. Краткий курс лекций и лабораторный практикум. М.: Научный мир, 2016. 268 с.

### Origin of the water inflow at the Grib diamond mine (Arhangelsk region)

©2020 L. A. Elantseva<sup>1</sup>, S. V. Fomenko<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>*Belgorod National Research University (NRU "BelSU"),  
85 Pobedy ul., Belgorod 308015, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Scientific and technical expert centre for new eco technologies in geohydrology and hydraulic engineering (NTTs NOVOTEK), 131 B. Khmelnitskogo pr, Belgorod 308002, Russian Federation*

#### Abstract

*Introduction:* At the kimberlite deposit named after V. Grib, a surface mining method is used, which means that all water-bearing rocks above the mining floor have to be dewatered. The water is drained into dead pits along the entire perimeter of the quarry, which makes the mining process difficult and can lead to undesirable engineering-geological phenomena in the quarry (water breakthroughs, landslides, etc.). The purpose of our research was to study the processes of groundwater filtration during the drainage of the Grib mine, using numerical modelling.

*Methodology:* The kimberlite pipe goes through Precambrian sedimentary rocks and is overlain by a stratum of Middle Carboniferous and Quaternary sediments. There are numerous rivers and lakes, as well as a tailing dump in the studied area. In order to determine the sources of water inflows into the quarry, we developed a numerical geofiltration model. The model takes into account all the elements of the drainage system, the interconnection of groundwater and surface waters, and the geological and hydrogeological features of the field. The theoretical model consists of four layers: Quaternary and Olmug-Okunev, Urzug-Voyerechensky, Padun, and Mezen systems. The water filtration problem was solved using the GMS MODFLOW package.

*Results and discussion:* The process of identifying the model determined the character of the hydraulic connection between the water-bearing rocks and river and lake valleys, the positions of sources and sinks within the aquifers, as well as the filtration losses of the tailing dump of the Verkhotinsky GOK. It also identified the sources of water inflows to the drainage system of the quarry. The study determined that water inflows into the quarry are formed due to groundwater and atmospheric precipitation in the areas of close hydraulic connection between groundwater and surface water.

*Conclusions:* The numerical model helped us to determine that the water inflows into the quarry originate from aquifers recharged by the infiltration from surface water objects and streams. We also determined the connection between the studied aquifer and the valleys of rivers and lakes, and identified the sources and sinks within the studied aquifer. Water losses from the tailing dump of Verkhotinsky GOK were estimated.

**Keywords:** groundwater, atmospheric precipitation, hydraulic connection between groundwater and surface water, filtration losses, water inflow into the quarry.

*For citation:* Elantseva L. A., Fomenko S. V. Formation of the water inflow to the Grib diamond mine (Arhangelsk region). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2020, no. 4, pp. 67–74. DOI: [doi.org/10.17308/geology.2020.4/3128](https://doi.org/10.17308/geology.2020.4/3128)

*Conflict of interests:* The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

---

✉ Sergey V. Fomenko, e-mail: [SVFomenko@rambler.ru](mailto:SVFomenko@rambler.ru)

REFERENCES

1. Gavich I. K. *Teoriya i praktika primeneniya modelirovaniya v gidrogeologii* [Theory and practice of modeling application in hydrogeology]. Moscow, Nedra Publ., 1980. 358 p. (in Russ.)
2. Jernov I. E., Shestakov V. M. *Modelirovanie filtratsii podzemnih vod* [Modelling of groundwater filtration]. Moscow, Nedra Publ., 1971. 226 p. (in Russ.)
3. Lomakin E. A., Mironenko V. A., Shestakov V. M. *Chislennoe modelirovanie geofiltratsii* [Numerical modeling of geofiltration]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 228 p. (in Russ.)
4. Lukner L., Shestakov V. M. *Modelirovanie geofiltratsii* [Modeling of geofiltration]. Moscow, Nedra Publ., 1976. 407 p. (in Russ.)
5. Anderson M. P., Woessner W. W. In *Applied Groundwater Modeling*. San Diego: Academic Press, 2015. 564 p.
6. Barenblatt G. I., Entov V. M., Ryzhik V. M. *Theory of Fluid Flows Through Natural Rocks (Theory and Applications of Transport in Porous Media #3)*. Springer 1st ed. softcover of. Germany, 2011, 412 p.
7. Bastian P., Kraus J., Scheichl R., Wheeler M. *Simulation of Flow in Porous Media Applications in Energy and Environment*. Germany: Walter de Gruyter, 2013. 222 p.
8. Beale G. Hydrogeological model. In: *Guidelines for Open Pit Design*. (Eds J Read & P Stacey) Melbourne, CSIRO Publishing, 2010, pp. 141–199.
9. Depner J. S., Rasmussen T. C. *Hydrodynamics of Time-Periodic Groundwater Flow – Diffusion Waves in Porous Media*. Wiley AGU, 2017, 324 p.
10. Hazzard J., Damjanac B., Lorig L., Detournay C. *Guidelines for groundwater modelling in open pit mine design*. In: *Slope Stability 2011*. Vancouver, Canada, (Eds E Eberhardt & D Stead), Canadian Rock Mechanics Association, 2011.
11. Jadwiga R. Z., Jeffrey M. P. *Competition for water resources. Experiences and Management Approaches in the US and Europe*. St. Paul, Minnesota. Elsevier, 2016, 460 p.
12. Sahimi M. *Flow and Transport in Porous Media and Fractured Rock*. 2nd edition, Wiley, 2011, 709 p.
13. Smith L. *Hydrogeology*. *Encyclopedia of Physical Science and Technology* (third Edition). Vancouver, BC, Canada, University of British Columbia, 2015, 406 p.
14. Su Y., Davidson J.H. *Modeling Approaches to Natural Convection in Porous Media*. Cham; Heidelberg; New York; Dordrecht; London, Springer, X, 2015, 47 p.
15. Szymkiewicz A. *Modelling Water Flow in Unsaturated Porous Media: Accounting for Nonlinear Permeability and Material Heterogeneity*, 2014, 237 p.
16. Xing Zhang, David J. Sanderson. *Numerical Modelling and Analysis of Fluid Flow and Deformation of Fractured Rock Masses*. London, UK., PERGAMON An Imprint of Elsevier Science. Imperial College of Science, Technology and Medicine University of London, 2002, 288 p.
17. Zekai Sen. In *Practical and Applied Hydrogeology*. Oxford, Elsevier, 2015, 406 p.
18. Bogatkov O. A., Garanin V. K., Kononova V. A. *Arhangelskaya amazonosnaya provinciya (geologiya, petrografiya, geohimiya i mineralogiya)* [Arkhangel'sk diamondiferous province (geology, petrography, geochemistry and mineralogy)]. Moscow, MSU Publ., 1999, 524 p. (in Russ.)
19. Harkiv A. D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I. *Korennie mestorojdeniya almazov mira* [Primary deposit diamonds of the world]. Moscow, Nedra Publ., 1998, 555 p. (in Russ.)
20. Elantseva L. A., Zaitsev D.A., Fomenko S. V. *Primenenie gorizontallykh drenaznykh skvazhin dlja osusheniya pribortovogo massiva v kar'ere mestorozhdeniya almazov im. V. Griba*. [Application of horizontal drainage wells for drainage of the near-rock mass in the quarry of the I. V. Grib]. *Strategiya razvitiya geologicheskogo issledovaniya nedr: nastojashchee i budushchee (k 100-letiju MGRI-RGGRU): materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii [Strategy of Geological Exploration of Mineral Resources: Present and Future (devoted to MGRI-RSGPU 100th anniversary): materials of International research and practice conference]*, Moscow, Publishing house of NPP «Filtrotkani», April 4-6, 2018, p. 230–231. Available at: <http://mgri-rggru.ru/science/konf/docs/tom2.pdf#4> (accessed 19 October 2020). (in Russ.)
21. Elantseva L. A., Zaitsev D.A., Fomenko S. V. *Gidrogeologicheskie prognozy v celjah osusheniya mestorozhdeniya almazov im. V. Griba* [Hydrogeological forecasts for dewatering diamond deposit named after V. Grib]. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2019, vol. 330, no. 7, pp. 53–61. (in Russ.)
22. Bochever F. M., Garmonov I. V., Lebedev A. V., Shestakov V.M. *Osnovy gidrogeologicheskikh raschetov* [Basics of hydrogeological calculations] Moscow, Nedra Publ., 1969, 368 p. (in Russ.)
23. Topchii G. E. *Metodicheskoe posobie po primeneniyu setochnih elektrointegratorov dlya resheniya zadach neustanovivsheysya filtratsii podzemnih vod* [Methodical manual on the application of grid electrointegrators for solving the problems of unsteady groundwater filtration]. Belgorod, VIOGEM Publ., 1971, 56 p. (in Russ.)
24. Fisun N. V., Lenchenko N. N. *Dinamika podzemnih vod* [The dynamics of groundwater]. Moscow, Scientific world Publ., 2016, 268 p. (in Russ.)

Elantseva Lyudmila Alekseevna – к. г.-м. н., доцент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), Белгород, Российская Федерация; E-mail: [Elantseva@bsu.edu.ru](mailto:Elantseva@bsu.edu.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9954-1207>

Fomenko Sergey Viktorovich – старший научный сотрудник, ООО НТЦ «НОВОТЭК», Белгород, Российская Федерация; E-mail: [SVFomenko@rambler.ru](mailto:SVFomenko@rambler.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3436-6468>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Lyudmila A. Elantseva – PhD in Geol-Min., Associate Professor, Belgorod National Research University (NRU "BelsU"), Belgorod, Russian Federation; E-mail: [Elantseva@bsu.edu.ru](mailto:Elantseva@bsu.edu.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9954-1207>

Sergey V. Fomenko – senior research fellow, ООО НТЦ «НОВОТЭК», Belgorod, Russian Federation; E-mail: [SVFomenko@rambler.ru](mailto:SVFomenko@rambler.ru); ORCID [0000-0003-3436-6468](https://orcid.org/0000-0003-3436-6468)

The authors have read and approved the final manuscript.