

УДК 622:001.89

## КОМПЛЕКСНАЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ: ОТ ОТХОДОВ К АЛМАЗАМ



**А. Б. ХУДАЯРОВА,**  
главный специалист,  
khudayarova.a.b@vnipt.ru



**М. К. ВОЛКОВА,**  
начальник  
лаборатории



**И. Н. ДЕДУЛИН,**  
главный специалист

Описана деятельность комплексной научно-исследовательской лаборатории глубинного захоронения жидких радиоактивных и промышленных отходов (НИЛ-5) АО «ВНИПИПромтехнологии». Отражены история создания и назначение, состав и современное техническое оснащение.

**Ключевые слова:** отходы, глубинное захоронение, гидрогеология, жидкие радиоактивные отходы, промышленные отходы, сточные воды, гидрогеологическое моделирование, уран, скважина.

АО «ВНИПИПромтехнологии», Москва, Россия

Комплексная научно-исследовательская лаборатория глубинного захоронения жидких радиоактивных и промышленных отходов (НИЛ-5) была создана 4 июня 1957 г. в составе ГСПИ-14 (в настоящее время АО «ВНИПИПромтехнологии»).

© Худаярова А. Б., Волкова М. К., Дедулин И. Н., 2021

Основным направлением деятельности на протяжении более 50 лет являлось обоснование возможности проектирования, организации и осуществления закачки в глубокие горизонты жидких радиоактивных отходов (ЖРО) и промстоков [1]. Технология подземного захоронения отходов в глубокие пористые геологические горизонты через буровые скважины, заимствованная в нефтяной промышленности у зарубежных коллег, нашла

### СУВОРОВ АФАНАСИЙ ПАВЛОВИЧ



Родился в 1922 г. в с. Маслянка Шадринского района Челябинской области (позже Курганской области).

В 1940 г. с отличием окончил среднюю школу на прииске Нюкжа Читинской области и был направлен военкоматом в Челябинское авиационное училище. В училище заболел и был комиссован.

Осенью 1940 г. в г. Шадринске был призван в Красную Армию. 22 июня 1941 г., первый день войны, Афанасий Павлович встретил на границе, затем воевал в артиллерийско-минометном полку под Сталинградом. После ранения служил шофером на боевой машине. Во время ликвидации Яско-Кишиневской группировки он перевез тысячу тяжелораненых бойцов, оказав им в пути медицинскую помощь, за что был удостоен медали «За отвагу».

В 1944–1945 гг. участвовал в освобождении Румынии, Болгарии, Венгрии, Австрии. Закончил войну в Вене – День Победы отпраздновал в венском лесу. За участие в Великой Отечественной войне и проявленные при этом мужество и отвагу был награжден орденами Красной Звезды, Отечественной войны, медалями «За оборону Сталинграда», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «За взятие Будапешта», «За взятие Вены» и многими другими.

После войны поступил в Нижне-Тагильский индустриальный институт, потом был переведен в Свердловский горный институт им. В. В. Вахрушева. После его окончания в 1951 г. по специальности «Разработка рудных и россыпных месторождений» был направлен в Москву в институт «ВНИПИПромтехнологии», где работал инженером, старшим инженером.

В 1953 г. Афанасий Павлович был командирован в г. Ленинабад Таджикской ССР на строительство Ленинадского горно-химического комбината в качестве заместителя главного инженера проекта, а затем исполняющего обязанности главного инженера проекта. В 1954 г. назначен начальником Специальной проектной бригады (СПБ-2), а через некоторое время начальником предприятия п/я № 8.

В 1957 г. Афанасий Павлович выступил инициатором приближения проектных организаций к стройкам и промышленным предприятиям. Ему принадлежит инициатива создания проектно-изыскательской организации в Средней Азии. Такая организация и была создана в г. Ташкенте – Филиал № 1 «ВНИПИПромтехнологии», а Афанасий Павлович был назначен начальником этого филиала. Под его руководством был создан промышленный комплекс и научно-производственная база филиала в г. Ташкенте, несколько полевых экспедиций и партий в Казахстане, Киргизии, Таджикистане и Узбекистане. Был выполнен большой объем по изыскательским и проектным работам в сложных пустынных условиях, в том числе по уникальному водоводу «Аму-Дарья» (г. Заравшан). Филиал, возглавляемый Афанасием Павловичем внес большой вклад в укрепление сырьевой базы действующих на территории Средней Азии предприятий, особенно за счет добычи металла методом подземного выщелачивания.

За успешную производственную деятельность, огромный вклад в строительство предприятий горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности Афанасий Павлович Суворов награжден государственными наградами и ведомственными знаками отличия, в том числе двумя орденами Трудового Красного Знамени, орденом «Знак Почета», знаком «Шахтерская слава» III степени, медалями «За трудовое отличие», «За доблестный труд», «Строителю Ташкента». Он удостоен званий «Лауреат Государственной премии СССР», «Заслуженный инженер УзССР», «Ветеран труда».

широкое применение при решении проблем обращения с радиоактивными отходами на старте развития атомной отрасли СССР [2]. Позже данная технология, подтвердившая свою безопасность, была использована на предприятиях химической промышленности.

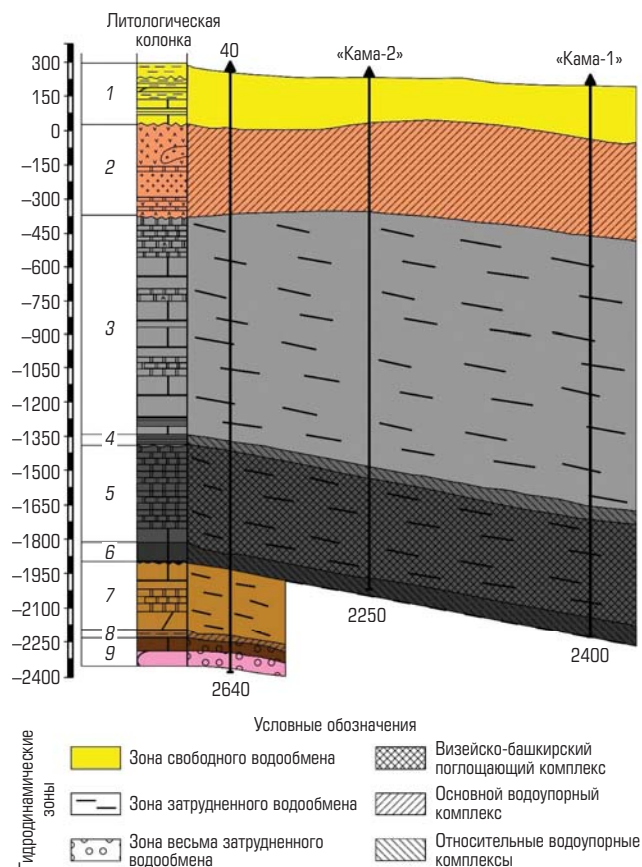
В лаборатории трудятся геофизики, гидрогеологи, геологи, горные инженеры – выпускники ведущих российских вузов. Заслуженные ветераны, стоявшие у истоков создания лаборатории, активно передают накопленные знания и опыт молодым специалистам.

На сегодняшний день коллектив НИЛ-5 ведет работы на объектах, расположенных практически на всей территории России. Основным направлением деятельности по-прежнему остается глубинное захоронение ЖРО и промстоков. Однако все чаще эта технология находит свое применение в производствах, не связанных с радиоактивными веществами.

«По наследству» от Научно-исследовательской лаборатории геолого-гидродинамических исследований по разработке и использованию технологий эксплуатации природных коллекторов (НИЛ-8), которой руководил д-р техн. наук Н. К. Приходько, в сферу деятельности НИЛ-5 перешли работы по сопровождению эксплуатации объектов мирных ядерных взрывов «Кама-1» (ООО «Газпромнефтехим Салават») и «Кама-2» (АО «БСК») [3, 4]. В рамках сопровождения эксплуатации этих объектов выполняются гидродинамические исследования в нагнетательных скважинах, анализ результатов гидродинамического и гидрохимического мониторинга, расчет фронта миграции сточных вод, оценка возможности перетекания сточных вод в вышележащие водоносные горизонты (рис. 1).

В настоящее время круг решаемых задач не ограничивается исключительно вопросами глубинного захоронения ЖРО. Специалисты лаборатории принимают участие в проектных работах АО «ВНИПИпромтехнологии», связанных с месторождениями урана (АО «Далур», АО «Хиагда»), бурого угля (ПАО «ППГХО»), хромовых руд (АО «ЧЭМК»), алмазов (ПАО «АПРОСА»), хвостохранилищ фосфогипса (АО «Апатит»), а также в деятельности уранового холдинга АО «АРМЗ» Госкорпорации «Росатом».

Стоит также упомянуть ключевую проблему Хиагдинского рудного поля (Республика Бурятия), решением которой отчасти занимаются сотрудники НИЛ-5. На месторождении Хиагдинское [5] при добыче урана из залежей было установлено, что участки залежей в верховьях соответствующих палеодолин слабо обводнены подземными водами и могут быть отработаны по традиционной технологии скважинного подземного выщелачивания с производительностью в два раза ниже проектного уровня. Из-за этого эти участки на данный момент выведены из эксплуатации. Напротив, участки рудных залежей в нижней части палеодолин многоводны, что позволяет вести их отработку с высокой производительностью. Другой причиной низкой производительности технологических скважин является снижение уровней продуктивного водоносного горизонта из-за разницы в плотности закачиваемых растворов серной кислоты и подземных вод. С аналогичными трудностями при освоении «сухих» и слабообводненных рудных залежей в настоящее время



**Рис. 1. Схематический геолого-гидрогеологический разрез района размещения объектов мирных ядерных взрывов «Кама-1» и «Кама-2»**

Литолого-стратиграфические комплексы: 1 – Надкунгурский терригенный  $P_{2ar}-N-Q$ ; 2 – Кунгурский гидрохимический  $P_{1kg}$ ; 3 – Московско-артинский карбонатный  $C_{2m}-P_{1ar}$ ; 4 – Вереийский  $C_{2vr}$ ; 5 – Визейско-башкирский карбонатный  $C_{1v}-C_{2b}$ ; 6 – Визейский терригенно-карбонатный  $C_v$ ; 7 – Франско-турнейский карбонатный  $D_{3r}-C_{1c}$ ; 8 – Кыновский  $D$ ; 9 – Вендско-верхнедевонский терригенно-карбонатный

сталкиваются недропользователи при освоении гидрогенных урановых месторождений в Танзании и Монголии (рис. 2) [6, 7]. Основной проблемой является геотехнологическая невозможность отработки участков месторождений со сложными геолого-гидрогеологическими условиями и, как следствие, поддержания проектной производительности откачных скважин на весь период эксплуатации.

Для решения этой проблемы научным коллективом авторов, состоящим из сотрудников АО «АРМЗ», НИЛ-5 АО «ВНИПИпромтехнологии», а также кафедры гидрогеологии МГУ им. М. В. Ломоносова, было предложено создание цифровой гидродинамической модели месторождения для управления ресурсами подземных вод. Использование такой модели позволит ответить на следующие вопросы: где взять подземную воду для пополнения запасов воды на слабообводненных участках рудных залежей, в каком количестве, в какую часть рудной



**Рис. 2. Месторождения со слабообводненными рудными залежами**

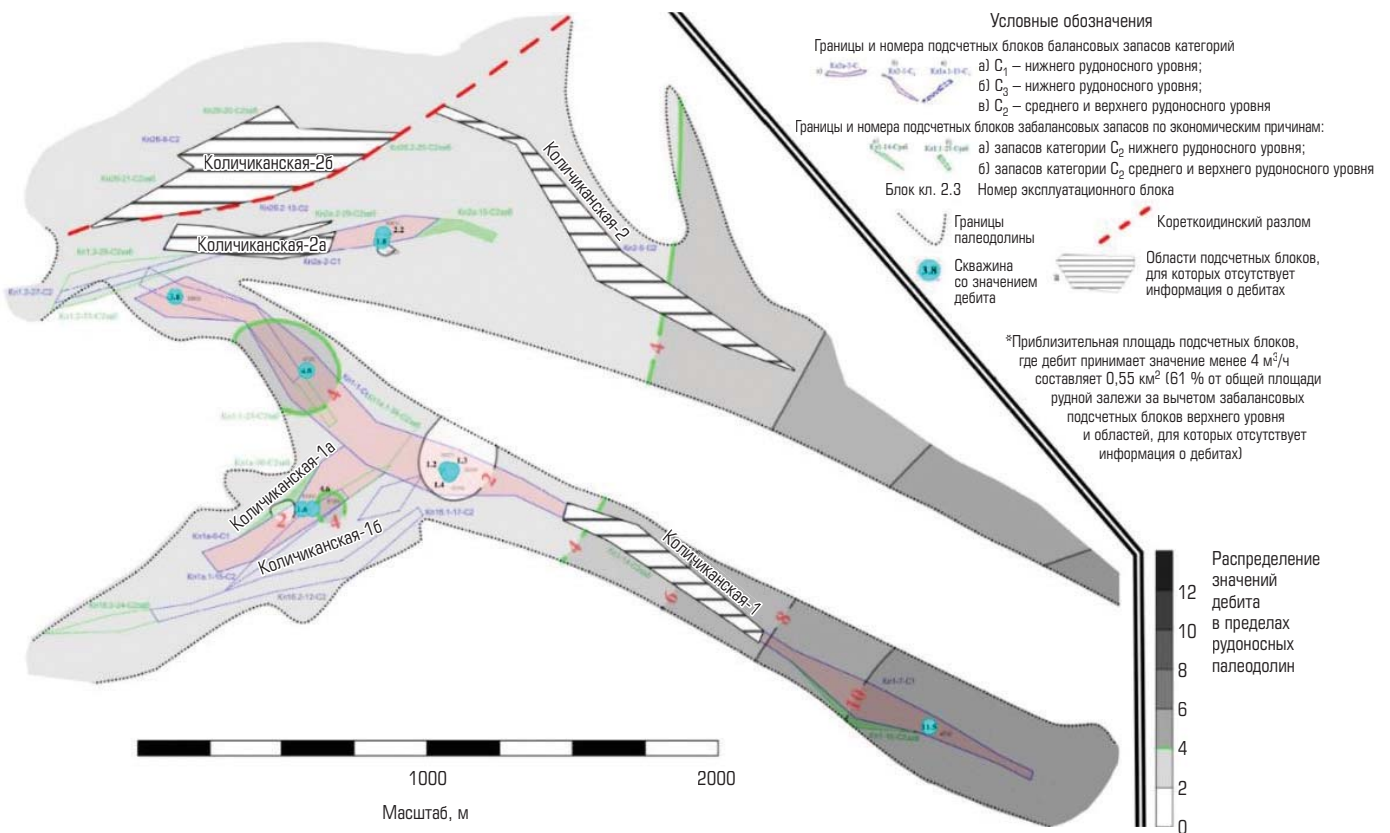
залежи подавать воду, а также, как долго должен продолжаться этот процесс? [8].

В настоящее время специалисты лаборатории разрабатывают цифровую гидрогеологическую модель Хиагдинского месторождения. В рамках данной работы расширена база геологических данных, создаются модель центрального гидрогеологического блока залежи, модель смешения глубинных углекислых и инфильтрационных вод для выявления доли каждого источника в формировании ресурсов подземных вод продуктивного горизонта. Помимо Хиагдинского месторождения, специалистами лаборатории в рамках аванпроекта были проанализированы материалы геологоразведочных работ на Количиканском месторождении и составлена концептуальная гидрогеологическая модель на основании карты дебитов продуктивного

горизонта (рис. 3). Данные работы и соответствующая квалификация специалистов НИЛ-5 позволили расширить компетенции АО «ВНИПИпромтехнологии» в сфере моделирования гидрогеологических процессов.

Еще одним предприятием, с которым сотрудничает институт, является завод по производству минеральных удобрений Балаковского филиала (БФ) АО «Апатит». Предприятие занимается производством серной и фосфорной кислот, а также фосфорных и комплексных удобрений. Отходы процесса производства складывают в отвале, и на данный момент у завода возникла необходимость расширения отвала фосфогипса с обеспечением мероприятий по минимизации негативного влияния на окружающую среду.

Специалистами НИЛ-5 разработана предварительная прогнозная модель миграции загрязнений с подземными водами от территории планируемого расширения отвала фосфогипса. Данные миграционного моделирования позволяют определить источники воздействия на окружающую среду и оптимизировать мероприятия по снижению этого воздействия. В частности, данные моделирования использованы при уточнении минимально допустимых границ контура противодиффузионной завесы (ПФЗ) и выдачи рекомендаций по устройству ПФЗ при расширении производства БФ «Апатит». Это позволит оптимизировать экономические затраты на обустройство нового отвала и снизить до минимума негативное воздействие на окружающую среду.



**Рис. 3. Карта-схема дебитов продуктивного горизонта Количиканского месторождения АО «Хиагда»**

В рамках договорных работ с АО «Челябинский электрометаллургический комбинат» специалисты НИЛ-5 разрабатывают геомиграционную модель поведения сточных вод через основание фильтрующей дамбы месторождения хромовых руд Центральное (Полярный Урал) [9]. Особенности моделирования связаны с непостоянством химического состава и расхода сточных вод, а также «сложными» геокриологическими условиями района работ.

В качестве программного обеспечения при разработке гидрогеологических моделей [10–13] используют лицензионные продукты: Processing Modflow Full Version [14–16], Golden Software Surfer, программный комплекс для аналитической и численной обработки опытно-фильтрационных опробований ANSDIMAT [17], программный продукт GeRa Версия 1.0.

Стоит также отметить, что расширены компетенции лаборатории в области гидрогеологического мониторинга с внедрением ежегодного анализа результатов работ на подземных алмазных рудниках «Айхал», «Интернациональный», «Удачный» АК «АЛРОСА» (ПАО) (рис. 4). С 2019 г. сотрудники НИЛ-5 выполняют осмотр подземных горных выработок рудников, карьеров, участков обратной закачки дренажных вод. На основании ежеквартальных анализов результатов мониторинга они выдают заключения по безопасности ведения горных работ и рекомендации по дальнейшему ведению мониторинга.

Комплексная научно-исследовательская лаборатория глубинного захоронения жидких радиоактивных и промышленных отходов продолжает выполнять свой основной функционал, связанный с глубинным захоронением. За последние годы лаборатория приобрела большой опыт работы при исследовании гидрогеологических условий различных месторождений полезных



**Рис. 4. Карьер «Удачный» кимберлитовой трубки АК «АЛРОСА» (ПАО)**

ископаемых, ее сотрудники принимали участие не только в научных, но и в проектных работах. Перспективы деятельности лаборатории связаны с большим спектром работ в области гидрогеологии и моделирования процессов геомиграции и геофильтрации.

#### Библиографический список

1. Рыбальченко А. И., Пименов М. К., Костин П. П. и др. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. – М.: ИздАТ, 1994. – 256 с.
2. Шарпута М. К., Чулков Н. В. Гидрогеологическое прогнозирование при захоронении жидких радиоактивных отходов и нерадиоактивных промстоков в глубокие горизонты // Вестник РАН. 2017. Т. 17. № 2. С. 24–29.
3. Матущенко А. М., Приходько Н. К. Из истории освоения ядерных взрывных технологий в СССР // Бюллетень по атомной энергии. 2005. № 6. С. 31–36.
4. Приходько Н. К., Васильев А. П. Подземное захоронение промстоков через укрупненные скважины, сооруженные с использованием подземных ядерных взрывов. – М.: ИздАТ, 2007. – 104 с.
5. Кочкин Б. Т., Тарасов Н. Н., Андреева О. В., Асадулин Э. Э., Голубев В. Н. Полигенность и полихронность урановой минерализации на месторождениях Хиагдинского рудного поля (Бурятия) // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 2. С. 124–140.
6. Гречухин М. Н., Дойникова О. А., Изнатов П. А., Рассулов В. А. Условия локализации и минеральный состав руд гидрогенного уранового месторождения Ульзит, Монголия // Геология рудных месторождений, 2016. Т. 58. № 3. С. 251–266.
7. Uranium 2018: Resources, Production and Demand: A Joint Report by the NEA and IAEA. – Paris: OECD Publishing, 2019. – 460 p.
8. Геотехнология урана (российский опыт) / под ред. И. Н. Солодова, Е. Н. Камнева. – М.: КДУ, 2017. – 576 с.
9. Malkovsky V. I., Yudinsev S. V., Sharaputa M. K., Chulkov N. V. Influence of buoyancy forces on movement of liquid radioactive waste from deep injection disposal site in the Tomsk region, Russian Federation: analytical estimate and numerical modeling // Environmental Earth Sciences. 2019. Vol. 78. 219. DOI: 10.1007/s12665-019-8209-0
10. Лехов В. А., Поздняков С. П. Анализ модели с двойной емкостью с переменным коэффициентом обмена для долгосрочного прогнозирования миграции РАО // Моделирование гидрогеологических процессов: от теоретических представлений до решения практических задач: Труды школы-семинара. – М.: МГУ, 2018. С. 196–206.
11. Leilei Min, Vasilevskiy P. Yu., Ping Wang, Pozdniakov S. P., Jingjie Yu. Numerical Approaches for Estimating Daily River Leakage from Arid Ephemeral Streams // Water. 2020. Vol. 12. Iss. 2. DOI: 10.3390/w12020499
12. Pozdniakov S. P., Ping Wang, Lekhov V. A. An Approximate Model for Predicting the Specific Yield Under Periodic Water Table Oscillations // Water Resources Research. 2019. Vol. 55, Iss. 7. P. 6185–6197.
13. YingYing Yao, ChunMiao Zheng, Yong Tian, Jie Liu, Yi Zheng. Numerical modeling of regional groundwater flow in the Heihe River Basin, China: Advances and new insights // Science China Earth Sciences. 2015. Vol. 58. Iss. 1. P. 3–15.
14. Harbaugh A. W. MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model – the Ground-Water Flow Process: Report. – Reston: US Geological Survey, 2005.
15. Processing Modflow X. Version 10.0.23. 2020. URL: <https://www.simcore.com/files/pm/v10/pm10.pdf> (дата обращения: 28.07.2020).
16. Langevin C. D., Thorne Jr. D. T., Dausman A. M., Sukop M. C., Weixing Guo. SEAWAT Version 4: A Computer Program for Simulation of Multi-Species Solute and Heat Transport: U.S. Geological Survey Techniques and Methods Book 6, Chapter A22. – Reston: U.S. Geological Survey, 2008. – 39 p.
17. Сундаловский Л. Н. ANSDIMAT: программный комплекс для определения параметров водоносных пластов. – СПб.: Наука, 2011. – 335 с. 