

## ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭРОПОРТА

### «МАГАДАН» НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

© 2010 Л.П. Глотова, В.Е. Глотов

Северо-Восточный комплексный НИИ ДВО РАН, г. Магадан

Поступила в редакцию 16.03.2011

Аэропорт «Магадан-Сокол» сдан в эксплуатацию около 50 лет назад. Он является крупнейшим на северо-восточной окраине России. Территория аэропорта находится в межгорной впадине, вступившей в стадию аккумуляции вещества, поэтому все инженерные мероприятия, соответствующие этой стадии, приводят к ускорению гидрогеологических процессов, связанных с накоплением подземных вод и льдов на площади аэродрома, сопровождаемых пучением, образованием наледей, деформаций и т.д. Инженерные решения, противодействующие ходу естественных процессов, вызывают такие явления, как суффозия, деформация покрытия, размыв откосов и т.д. Для своевременного выявления и предупреждения негативных гидрогеоэкологических ситуаций необходима организация гидрогеологического и инженерно-геологического мониторинга.

Ключевые слова: *аэропорт, подземные воды, гидрогеоэкология, суффозия, деформации*

Аэропорт «Магадан» расположен в 50 км севернее г. Магадана на пологом (3-5°) правобережном склоне долины р. Уптар, входящей в бассейн р. Арманы. Последняя впадает в Охотское море (рис. 1). Решение о строительстве аэропорта принято в начале 50-х годов, инженерно-геологические изыскания и строительство начаты в 1957 г. Расширение аэропорта и его реконструкция продолжают по настоящее время. Сейчас это крупнейший аэропорт на северо-восточной окраине России, обеспечивающий перевозку грузов и пассажиров по авиалиниям местного, регионального, федерального и международного значения. Он имеет Сертификат годности для международных полетов, принимает воздушные суда типа ИЛ-76, ТУ-154, Боинг-727-10 и другие. В связи с этим высок уровень требований к безопасной и надежной эксплуатации всех инженерных сооружений, включая аэродром, аэровокзал и складские помещения, предприятия технического обслуживания и ремонта воздушных судов, системы коммуникаций и т.д.

Площадь аэропорта без населенного пункта «Сокол» достигла 12 кв. км и составляет примерно 20% территории межгорной впадины, в пределах которой она расположена. На этой площади в период 1989-2009 гг. авторами были проведены гидрогеологические и инженерно-геологические исследования, результаты которых в совокупности с данными, полученными при

изысканиях под различные здания и сооружения аэропорта, представляются актуальными в настоящее время и могут быть использованы для обеспечения безопасности и устойчивой работы аналогичных объектов в сложных мерзлотно-гидрогеологических обстановках.

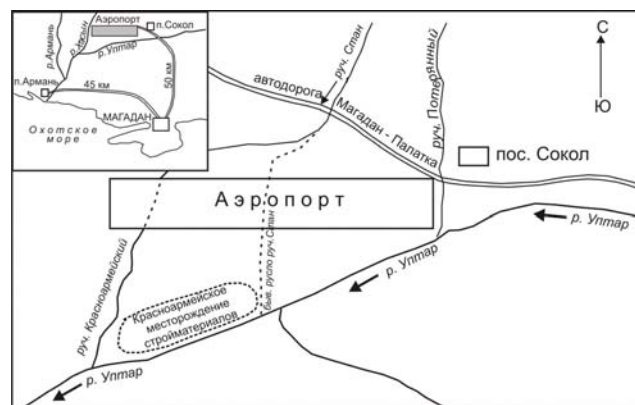


Рис. 1. Схема расположения аэропорта «Магадан»

**Цель работы:** на основе полученных результатов показать особенности современного гидрогеологического состояния территории аэропорта, обосновать возможность возникновения негативных ситуаций и методы их предупреждения.

**Результаты выполненных работ.** Изучаемая территория в тектоническом отношении приурочена к восточному борту Уптар-Хасынской межгорной впадины, имеющей площадь около 60 км<sup>2</sup>. В осадочном чехле ее развиты галечники, пески, супеси, суглинки с линзами вулканического пепла, илов, торфа. Общая их мощность, видимо, превышает 500 м. На площади

Глотов Владимир Егорович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геологии нефти и газа и геоэкологии. E-mail: geocol@neisri.ru

Глотова Людмила Петровна, старший научный сотрудник лаборатории геологии нефти и газа и геоэкологии. E-mail: glotova@neisri.ru

аэропорта она изменяется от первых десятков метров вблизи ручья Потерянный до 200-300 м у ручья Красноармейский, т.е. резко возрастает в западном направлении. Генетически отложения разнообразны и относятся к озёрным, речным, ледниковым, водно-ледниковым, делювиально-пролювиальным. Горноскладчатое обрамление сложено гранитами и гранодиоритами верхнемелового возраста, верхнеюрскими эффузивами и туфами. В ходе своего развития впадина прошла этапы аккумуляции осадков и этапы эрозии. Наиболее заметны следы раннеголоценового оживления эрозионных процессов, совпадавшего с эвстатическим повышением уровня моря и некоторым смягчением климатических обстановок. В ту пору формировались сохранившиеся до сих пор суффозионные воронки, многочисленные ложбины стока, овраги. Сейчас отчетливо видны признаки преобладающей аккумуляции. В неотектоническом отношении район активен. При погружении межгорных впадин одновременно происходят воздымания горноскладчатых сооружений, сопровождаемые землетрясениями до 7 баллов по Рихтеру. Несколько неотектонических разломов пересекают территорию аэропорта. К ним приурочены долины ручьёв Красноармейский и Стан. Есть разломы северо-западного простирания.

Климат района морской с элементами континентального. Средняя годовая температура воздуха  $+5^{\circ}\text{C}$ , среднее многолетнее количество осадков 379 мм, из них в виде дождя 67-70%. Характерно выпадение жидких осадков в конце теплого периода года, поэтому в холодный период промерзают обводненные грунты. Толща многолетнемерзлых пород (ММП) имеет прерывистое распространение. Мощность ее обычно 50-60 м, достигая на отдельных участках 120 м. Но на площади развития рыхлых и слабосвязанных грунтов отмечено сквозное протаивание, ММП отсутствуют и под руслами водотоков 2-го и больших порядков (по Р. Хортону). При столь низкой температуре воздуха все талики, в том числе и сквозные, существуют благодаря теплопереносу в фильтрующих толщах. Относительно малая мощность толщи ММП вызвана повышенным накоплением снега в речной долине и длительным временем промерзания сезонно-талого слоя из-за его высокой водонасыщенности.

В гидрогеологическом отношении Уптар-Хасынская впадина является замкнутым малым артезианским межгорным бассейном. Аэропорт и обслуживающие его предприятия занимает значительную часть области питания этого бассейна, областью разгрузки является русло р. Уптар. Изложенные природные особенности определяют своеобразие техногенных изменений гидрогеологической обстановки на данной территории. При строительстве и эксплуатации аэропорта

происходили преобразования следующих факторов формирования подземных вод:

- геологических условий – за счет перемещения галечников из основания правобережной надпойменной террасы р. Уптар на более высокие уровни к предгорью для создания искусственных насыпей, подсыпки в фундаменты зданий и т.д.; всего перемещено около 6 млн.  $\text{м}^3$  грунта, сформирован искусственный слой на площади около 5  $\text{км}^2$  при мощности от 0,2-0,5 м до 5-6 м; удалены торф и ил из мест их естественного залегания за пределы аэродромного поля;

- рельефа речной долины – за счет выравнивания склона с последующим созданием уступа вдоль северной (предгорной) кромки аэродромного поля; возведение насыпи из привозного грунта с крутизной склонов до  $45^{\circ}$  вдоль южной кромки (насыпь взлетно-посадочной полосы – ВВП); заполнение тем же грунтом бывших котловин, ложбин стока и русел отводимых водотоков (ручьев Стан, Потерянный) в пределах аэропорта;

- гидрографической сети – за счет переориентации направления стока ручьёв Стан и Потерянный в нижнем течении; создания новых котлованов, карьеров в устьях ручьев; возникновение новых субширотных водных потоков в дренажных канавах вдоль северной кромки аэродрома;

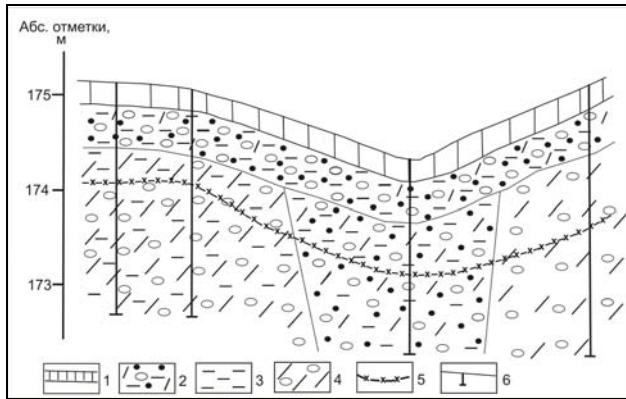
- условий залегания и питания подземных вод – за счет возникновения искусственных водоносных горизонтов, потоков и водных линз в насыпях, засыпанных котлованах и котловинах, ложбинах стока, руслах ручьев и оврагов; увеличения объема питания подземных вод путем инфильтрации из дренажных систем и новых русел ручьев; потери воды при поливе аэродрома в летнее время, применении водных растворов солевых смесей в зимнюю борьбу с гололёдом, утечек воды из канализационных и водопроводных сетей общим объемом порядка сотни  $\text{м}^3/\text{сутки}$ ;

- составляющих теплового баланса – за счёт сведения почв и растительности, устройства искусственного покрытия; удаления снега с мест стоянок самолётов, перрона, взлетно-посадочной полосы и т.д., накопления снега на неиспользуемых участках аэродрома и по его окраинам;

Перечисленные изменения окружающей среды за 50-летний период строительства и эксплуатации аэропорта способствовали возникновению ряда мерзлотных и гидрогеологических процессов, которые можно назвать антропогенными. Кратко охарактеризуем наиболее значимые, к которым относим трансформации гидрогеологических обстановок; оживление суффозии; перестройку геокриологической ситуации.

Установлено, что заполнение гравийно-галечниковым грунтом траншей, в которых проложены трубопроводы ливневой и коммунально-бытовой канализационных сетей, привело к возникновению техногенных аккумуляторов стока подземных вод из обводненных, но слабоводо-

проницаемых флювиогляциальных и насыпных образований. Концентрация подземного стока вызывает вынос тонких фракций из дренируемых грунтов (суффозию), что в сочетании с уплотнением провоцирует образование прогибов на взлетно-посадочной полосе (ВПП), иногда до неприемлемых величин (рис. 2).



**Рис. 2.** Схематический геологический профиль по линии «перрон – место стоянки самолетов» аэропорта «Магадан»:

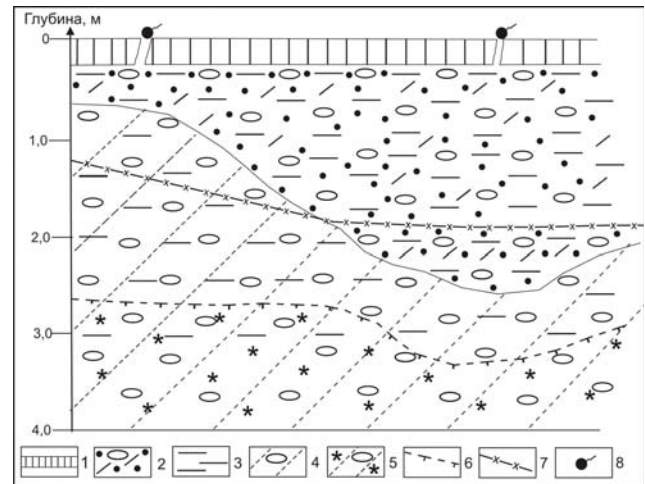
1 – бетонное покрытие (плиты); 2 – насыпной гравийно-галечный грунт с глинистым песком; 3 – то же, водоносный; 4 – супесь моренная; 5 – подошва сезонного оттаивания на 3-ю декаду июня; 6 – скважина

Под обширными площадями искусственных покрытий в толще насыпных грунтов в первой половине теплого периода года формируются специфические сезонные микробассейны и потоки подземных вод типа временной верховодки. При этом воды могут быть и напорными. Роль водоупорной кровли играют асфальтобетонные или бетонные покрытия, а обводненного горизонта – сезоннооттаивающие насыпные гравийно-галечниковые отложения. Своеобразной подошвой этому сезонно-обводненному слою служат те же самые грунты, но в мерзлом состоянии. В местах «разгрузки» таких бассейнов происходит интенсивное разрушение покрытий, шелушение бетонных плит, появление микротрещин и т.д. Это продолжается до тех пор, пока временный микробассейн не исчезнет после оттаивания всего сезонно-мерзлого слоя (рис. 3).

За счет использования разнообразных солей в зимнее время, разложения бетонов, загрязнения промышленными и бытовыми стоками произошло увеличение общей минерализации подземных вод и преобразование их химического состава (табл. 1). В ненарушенном состоянии подземные воды имели минерализацию 40-90 мг/л, гидрокарбонатный натриевый состав, слаббокислую реакцию, содержание агрессивной углекислоты до 20 мг/л.

В 1963 г. отмечены первые признаки антропогенного изменения на единичных участках. Например, подземные воды, вскрытые вблизи старого русла ручья Стан на глубине 9,5-12,5 м, имели запах бензина, минерализацию 140 мг/л,

содержание агрессивной углекислоты 42 мг/л. В настоящее время изучаемые подземные воды имеют сульфатный натриевый состав с минерализацией до 517 мг/л. В единичных случаях получали воду с минерализацией до 6,6 г/л, от слабкокислой до слабощелочной реакции. Параллельно с ростом минерализации и изменением химического облика подземных вод возрастало содержание агрессивной углекислоты до 70 мг/л и более.



**Рис. 3.** Схема формирования сезонного бассейна грунтовых вод под бетонным покрытием:

1 – бетонное покрытие (плиты); 2 – насыпной гравийно-галечный грунт с глинистым песком; 3 – то же, водоносный; 4 – супесь моренная; 5 – то же мерзлая; 6 – верхняя граница новообразованных ММП; 7 – подошва сезонного оттаивания на 3-ю декаду июня; 8 – выходы подземных вод на бетонные плиты

Существенно перестроились геоэкологические условия. Среднегодовая температура воздуха в  $-5^{\circ}\text{C}$  теоретически способствует повсеместному распространению ММП. Существование сквозных таликов поддерживалось инфильтрацией атмосферных осадков. После укладки водонепроницаемых искусственных покрытий прекратилось поступление тепла вместе с инфильтрующимися водами, под покрытиями стали формироваться многолетнемерзлые породы. Водоносные отложения превратились в мерзлые льдистые. Вне площадей искусственных покрытий на аэродромном поле при снятии теплоизолирующего почвенно-растительного слоя увеличилась почти на 1 м глубина сезонного промерзания и оттаивания, активизировались процессы криогенной дезинтеграции крупнооблочных грунтов. При искусственном удалении снега на таких площадях происходит интенсивное образование морозобойных трещин. Особенно активны эти процессы на асфальтобетонном покрытии ВПП. Не исключено, что активизации процессов способствуют взлеты-посадки многотонных судов. Все это вызывает деформацию покрытия уже через 5-6 лет после укладки.

Таблица 1. Химический состав подземных вод на территории аэропорта

Место отбора проб воды	Основные компоненты, мг/л				Формула химического состава
	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	
в начале строительства аэропорта					
аэродромное поле, в начале ВПП, с глубины 7 м	11,3	2,2	19,6	17,7	M0,08 $\frac{Cl45SO_430HCO_327}{Ca46Na39Mg15}$ pH=6,6
там же, с глубины 8,6 м	3,4	1,6	16,6	6,4	M0,09 $\frac{Cl57HCO_327SO_416}{Na39Ca21Mg16}$ pH=6,6
площадка под аэровокзал, с глубины 12 м	1,6	нет	5,1	17,7	M0,04 $\frac{SO_446HCO_336Cl18}{(Na + K)90}$ pH=6,4
в текущее десятилетие (через 50 лет эксплуатации)					
южнее ВПП, с глубины 4 м	15,6	4,7	18,7	111,4	M0,28 $\frac{SO_451HCO_337Cl12}{Na70\tilde{Na}17}$ pH=5,2
перрон, с глубины 8 м	17,7	6,8	29,1	147,8	M0,32 $\frac{SO_454HCO_332Cl16}{Na74Ca15Mg10}$ pH=6,8
там же, с глубины 7 м	10,2	6,1	33,3	176,6	M0,42 $\frac{SO_454HCO_332Cl16}{Na79Ca12}$ pH=6,2
там же, с глубины 6 м	12,4	3,9	35	169,9	M0,42 $\frac{SO_452HCO_334Cl14}{Na80Ca15}$ pH=5,8

В целом, следствием возникающих геокриологических ситуаций являются повреждения инженерных конструкций, включая административные здания аэропорта, появление неровностей на ВПП, образование трещин в бетонных плитах и наледей на местах стоянки самолетов у северной кромки аэродромного поля.

Для выработки мер борьбы с неблагоприятными инженерными последствиями и дальнейшего их предупреждения необходим прогноз развития мерзлотных и гидрогеологических обстановок. Для этих целей мы используем разработанный ранее [1] динамический подход. Методология этого подхода основана на признании неравновесности существующих природных обстановок. С разной скоростью, но постоянно они меняются под воздействием эндо-, экзо- и космогенных факторов. Человек своей деятельностью или способствует (стимулирует, ускоряет), или противодействует (задерживает, тормозит) ход естественных процессов. Последнее, как отмечено выше по тексту, направлены на аккумуляцию вещества на склоне речной долины. Используя этот подход, весь комплекс инженерной деятельности при строительстве и эксплуатации аэропорта «Магадан» можно разделить на две группы: первая – действия, способствующие ходу естественных процессов, и вторая – тормозящая их.

Инженерными мероприятиями, ускоряющими или стимулирующими природные процессы, являются: создание всех видов искусственных покрытий из привозных материалов, динамические и статические нагрузки на земную поверхность в пределах площади аэропорта; мероприятия, усиливающие охлаждение грунтов в зимнее время и приводящие к образованию скоплений подземного льда как одной из форм аккумуляции вещества. Все эти процессы вызывают антропогенные изменения мерзлотных и гидрогеологических обстановок, имеющих необратимый характер, т.е. соответствующих направленности естественных факторов развития Уптар-Хасынской межгорной впадины: увеличивается мощность и площадь распространения многолетнемерзлых пород, перемерзают искусственные и вновь возникшие талики с образованием бугров пучения. В этом же ряду и повышение обводненности грунтов на аэродромном поле, вызывающее образование наледей и формирование на нем заболоченных участков, что можно также рассматривать как разновидность аккумуляции вещества. Ведущим инженерным решением по предупреждению негативных процессов является усиление дренажа территории аэродромного поля, но не плоскостного, а вертикального с помощью скважин и колодцев. Данное мероприятие приведет к восстановлению ин-

фильтрационного питания подземных вод межгорного артезианского бассейна.

В группу инженерных решений, не соответствующих ходу естественных процессов, входят: создание карьеров в нижней части склона р. Уптар; перемещение гравийно-галечникового материала и природных вод из поймы выше по склону речной долины на территорию аэропорта; образование уступов с крутизной больше естественного уклона, активизация водообмена; утепление грунтов и снижение температуры замерзания воды при росте её минерализации. В этом случае инженерно-геологические процессы, которые мы относим к техногенным, направлены на самовосстановление нарушенных природных обстановок, т.е. искусственно перемещенные отложения будут сдвигаться и переноситься вниз по склону в соответствии с законом минимизации потенциальной энергии; склоны искусственных насыпей, полувыемок и карьеров будут вылаживаться до уклонов поверхности, близких к ранее существовавшим. Вылаживание искусственных склонов влечет появление трещин отпора в грунтах основания искусственных сооружений и в асфальтобетонных покрытиях. Инженерным решением для предупреждения данной разновидности негативных процессов

будет управляемое вылаживание и укрепление откосов насыпей и уступов, предотвращение оттайки мерзлых грунтов и контролируемое замораживание талых.

**Выводы:** техногенные преобразования природной среды в пределах аэропорта «Магадан» существенно влияют на условия жизни и деятельности людей, определяют безопасность полетов, поэтому гидрогеологический мониторинг в комплексе с геокриологическим и инженерно-геологическим как основа научного сопровождения по поддержанию работоспособности аэропорта должен быть одним из основных направлений деятельности аэродромной службы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Глотов, В.Е. Обоснование динамического подхода к изучению мерзлотно-гидрогеологических процессов на Северо-Востоке СССР // Колыма-Магадан. 1988. № 8. С. 35-36.
2. Глотов, В.Е. Новый подход к методологии прогноза последствий техногенных изменений геологической Среды на Северо-Востоке России / В.Е. Глотов, Л.П. Глотова // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий: мат-лы XI сессии Северо-Восточного отд. ВМО (Билибинские чтения, Магадан, 16-18 мая). – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. Т. 3. С. 123-125.

## HYDRO-GEOLOGICAL TRANSFORMATIONS DURING BUILDING AND USING THE AIRPORT "MAGADAN" (NORTHEAST OF RUSSIA)

© 2010 L.P. Glotova, V.E. Glotov

Northeast Complex Scientific Research Institute FEB RAS, Magadan

Airport "Magadan-Sokol" is put in operation about 50 years ago. It is the largest on northeast suburb of Russia. The airport territory is in the intermountain hollow which has entered a stage of substance accumulation, therefore all engineering actions corresponding to this stage, lead to acceleration of hydro-geological processes connected with accumulation of underground waters and ices on the area of airdrome, accompanied by rebounding, formation of icings, deformations etc. Engineering decisions counteracting a course of natural processes, cause such phenomena as internal erosion, covering deformation, washout of slopes, etc. For timely revealing and prevention the negative hydro-geo-ecological situations it is necessary the organization of hydro-geological and engineering-geological monitoring.

Key words: *airport, underground waters, hydrogeocology, internal erosion, deformations*

Vladimir Glotov, Doctor of Geology and Mineralogy, Chief of the Laboratory of Oil and Gas Geology and Geoecology. E-mail: [geoecol@neisri.ru](mailto:geoecol@neisri.ru)

Lyudmila Glotova, Senior Research Fellow at the the Laboratory of Oil and Gas Geology and Geoecology. E-mail: [glotova@neisri.ru](mailto:glotova@neisri.ru)