

## Условия формирования эксплуатационных запасов подземных вод юго-западной части Калининградского полуострова

Рассмотрены условия формирования эксплуатационных запасов подземных вод, проанализированы режимные наблюдения за уровнем и химическим составом подземных вод. Методом численного моделирования определены оптимальные нагрузки на скважины для максимального ослабления интенсивности засоления и продления срока эксплуатации целевых водоносных горизонтов с существующим качеством вод.

Ключевые слова: *качество подземных вод, минерализация, хлориды, палеодолина, оптимальный водоотбор, некондиционные воды, водоснабжение населения, Калининградская область.*

A. V. SEMENCHUK (JSC «North-Western PGO»)

## Formation conditions of useful groundwater resources in southwestern part of the Kaliningrad peninsula

The article describes the conditions for the formation of groundwater supplies, and presents the analysis of monitoring observations of the level and chemical composition of groundwater. Using the numerical simulation method, optimal loads for the wells have been determined in order to minimize the intensity of salinity and increase the lifespan of the target aquifers with the current water quality.

Keywords: *quality of groundwater, mineralization, chlorides, paleovalley, optimal water supply, substandard water, water supply of the population, Kaliningrad region.*

**Введение.** Исследование основано на материалах по объекту «Поисково-оценочные работы на подземные воды для обеспечения хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Балтийска Калининградской области» (рис. 1), выполняемых АО «Северо-Западное ПГО» с 2014 г. по заказу Севзапнедра.

В ряде прибрежных районов Калининградской области становится актуальной проблема водоснабжения населения питьевой водой соответствующего качества. В результате интенсивной эксплуатации прибрежных водозаборов уровень подземных вод снижается, что вызывает вторжение соленых морских вод в водоносные горизонты (ВГ) с пресными подземными водами, которые используются для централизованного водоснабжения. Изучение условий формирования подземных вод и оценка перспектив использования подземных вод для водоснабжения в условиях их взаимодействия с морскими водами представляются весьма важными.

**Гидрогеологические условия.** Исследуемая территория приурочена к южной окраине Прибалтийского артезианского бассейна в пределах центральной, наиболее погруженной для Калининградской области части тектонической структуры I порядка – Балтийской синеклизы. Это глубокая впадина, заполненная мощным чехлом осадочных отложений, представляющим собой многослойную систему водоносных и водоупорных пластов разного возраста, начиная от пород венда и кембрия.

Разрез осадочного чехла Прибалтийского артезианского бассейна заканчивается четвертичной толщей, образовавшейся в процессе оледенения. Характерной особенностью этой части разреза

является наличие густой сети троговых (погребенных) палеодолин – ледниковых образований, возникающих при продвижении ледников и последующем их отступлении. В большинстве случаев эти образования унаследовали и изменили (расширили и углубили) существовавшие в те времена речные долины. Такие палеодолины развиты в районе исследований.

Верхний гидрогеологический этаж данного гидрогеологического бассейна, выделяемый по литолого-гидродинамическим признакам, приурочен к зоне активного водообмена и связан с четвертичными, палеогеновыми и меловыми отложениями (таблица). Подземные воды этажа до глубины 100–150 м пресные, с глубиной переходят в солончатые (минерализация до 20 г/дм<sup>3</sup>).

Основной областью питания водоносных горизонтов служит западная часть Самбийской возвышенности, расположенная в пределах Калининградского полуострова.

Централизованное водоснабжение г. Балтийск осуществляется посредством водозаборных скважин, оборудованных на окско-вологодский, среднепалеогеновый и верхнемеловой водоносные горизонты.

Геолого-гидрохимические условия осложнены наличием палеодолины, прорезающей полуостров и выполненной отложениями окско-вологодского горизонта, воды которого в районе вреза образуют единую уровенную поверхность с подземными водами среднепалеогенового алкского водоносного горизонта (рис. 2). В соответствии с «Классификацией запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод» участок

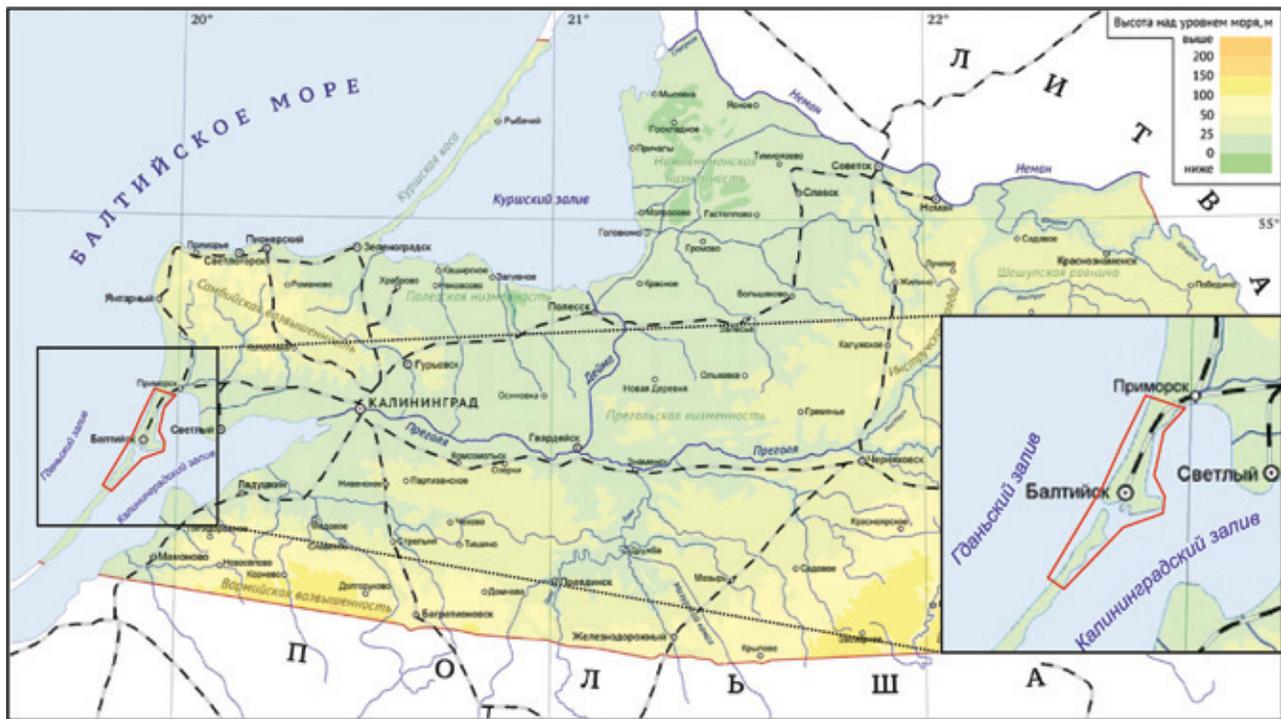


Рис. 1. Обзорная карта района исследования. Красным цветом обозначены границы участка работ

недр в районе г. Балтийск, по сложности гидрогеологических условий можно отнесен к третьей группе ввиду ограниченности размера, резко изменяющихся мощности и фильтрационных свойств водовмещающих пород и сложных гидрохимических закономерностей.

До развития водоснабжения города в пределах долины основным источником водоснабжения служил среднепалеогеновый алкский водоносный горизонт, который каптировался скважинами, размещенными по обе стороны палеодолины. Сейчас подземные воды горизонта на территории, примыкающей к южному борту долины, имеют преобладающую минерализацию 0,7–2,5 г/дм<sup>3</sup>. Со стороны северного борта долины они сохранили свое первоначальное качество, что связано с поступлением вод со стороны материковой части. Воды горизонта на всей территории к северу от долины пресные (минерализация 0,42–0,66 г/дм<sup>3</sup>). По всем компонентам они отвечают требуемым нормативам, кроме мутности (до 6,3 ПДК), марганца (до 1,07 ПДК) и железа (до 17 ПДК) [4].

На водозаборном участке в пределах долины за всю его историю было пробурено не менее 100 скважин. Сейчас работает 8 скважин. Основной причиной сокращения парка эксплуатационных скважин на участке является осложнение гидрохимической обстановки в центральной части палеодолины, где был сосредоточен самый высокий и бесконтрольный уровень водоотбора. По химическому составу подземные воды окско-вологодского водоносного горизонта хлоридно-гидрокарбонатные, реже гидрокарбонатно-хлоридные, смешанные или натриево-кальциевые, реже кальциево-магниевые, пресные (минерализация 0,31–1,0 г/дм<sup>3</sup>) или слабосоленоватые (минерализация 1,17 г/дм<sup>3</sup>) (А. В. Семенчук и др., 2016). Хлоридный состав и повышенная минерализация подземных вод окско-вологодского водоносного

горизонта обусловлены подтягиванием слабосоленоватых вод залива. Фатальное разрастание зоны некондиционных вод в центре водозабора и, как следствие, к югу от него вынудило систематически выводить из эксплуатации скважины с гидрохимическими показателями, превышающими ПДК питьевых вод, или ограничивать их водоотбор.

**Результаты режимных наблюдений** свидетельствуют об увеличении минерализации подземных вод в разные годы до 1,3 и 2,8 г/дм<sup>3</sup> от первоначальной 0,15 г/дм<sup>3</sup>. Засоление водоносных горизонтов, по общим представлениям, объясняется внедрением морских вод по палеодолине, имеющей гидравлическую связь с поверхностными водами Гданьского залива.

Анализ материалов показал, что подтягивание морских вод может происходить не только по палеодолине, но и через отложения среднепалеогенового водоносного горизонта к югу от долины, имеющего здесь довольно высокие коэффициенты фильтрации. А отсутствие сплошности перекрывающих водоупорных отложений вологодской морены в пределах акватории Гданьского залива дает возможность беспрепятственного вторжения некондиционных морских вод из-за нарушенного режима фильтрации.

Несмотря на снижение общего водоотбора за 1995–2016 гг., отмечается, что основная зона засоления (содержание хлоридов и минерализация вод свыше ПДК), обнаруженная в середине 90-х годов в центральной части палеодолины, имеет тенденцию к расширению. Зона засоления расширилась и примкнула в 1997 г. к западному борту палеодолины, а в 2004–2016 гг. фронт засоления продвинулся от центра в восточном направлении (рис. 3, 4).

Проанализированы режимные данные по скважинам, оборудованным на окско-вологодский,

### Характеристика гидрогеологических подразделений района исследования

Горизонт	Гидрогеологический индекс	Литологическое описание пород	Примечание
Четвертичный надморенный водоносный комплекс	III-N	Мелко- и тонкозернистые пески с прослоями суглинков и глин	Воды комплекса непригодны для водоснабжения ввиду прямой связи с солеными водами морских заливов
Московский относительно водоупорный ледниковый горизонт	gIIms	Валунные суглинки с прослоями и линзами разнозернистых песков и ленточных глин	Локально распространен в центральной части района исследования
Вологодско-московский межморенный водоносный горизонт	f,lgIIvl-ms	Разнозернистые пески, пески с суглинком	Имеет повсеместное распространение. Воды горизонта непригодны для водоснабжения ввиду прямой связи с солеными водами морских заливов
Вологодский относительно водоупорный горизонт (gIIvl)	gIIvl	Суглинки, глины и супеси с содержанием до 20–30 % гравия	Имеет практически повсеместное распространение в пределах суши. Выклинивается в акватории Гданьского залива
Окско-вологодский межморенный водоносный горизонт	f, lgIok-IIvl	Разнозернистые пески с гравием и галькой, местами суглинки и глины	В районе исследования слагает погребенную долину, простирающуюся узкой полосой с юго-востока на северо-запад. Воды горизонта используются для централизованного водоснабжения г. Балтийск
Среднепалеогеновый прусский водоносный горизонт	P <sub>2</sub> pr	Разнозернистые глинистые пески и алевриты, в подошве плотные глинистые алевриты	Локально распространен на севере района и отдельными участками на юге. Для водоснабжения не используется
Среднепалеогеновый алкский водоносный горизонт	P <sub>2</sub> al	Мелко- и среднезернистые пески, алевриты	Имеет широкое распространение на данной территории, отсутствует лишь на площади развития окско-вологодского межморенного водоносного горизонта в пределах погребенной долины. Выклинивается в акватории Гданьского и Калининградского заливов. Воды горизонта используются для централизованного водоснабжения г. Балтийск
Среднепалеогеновый самбийский водоупорный горизонт	P <sub>2</sub> sm	Глины, алевролиты и алевриты	Имеет практически повсеместное распространение, размыт лишь на участках максимального вреза погребенной долины
Верхнемеловой водоносный горизонт	K <sub>2</sub>	Трещиноватые мергели и алевриты	Имеет повсеместное распространение. Воды горизонта используются для централизованного водоснабжения г. Балтийск

среднепалеогеновый и верхнемеловой водоносные горизонты. Особое внимание уделено зависимости изменения общей минерализации и содержания хлоридов от водоотбора [1, 3]. Результаты сопоставления графиков приведены на рис. 5.

На основании анализа данных можно отметить, что изменение водоотбора с 2004 по 2016 г. из скважин 35 и 7, оборудованных на среднепалеогеновый алкский и верхнемеловой водоносные горизонты, не повлияло на концентрацию хлоридов и общую минерализацию подземных вод. Колебания содержания хлорид-ионов подземных вод соответствуют естественным изменениям концентраций в течение года для данного района.

Иная ситуация на скважинах 139 и 187, каптующих окско-вологодский водоносный горизонт.

Здесь на фоне естественных колебаний общей минерализации и содержания хлоридов в годовом разрезе четко прослеживается прямая связь с нагрузкой на каждую скважину.

Все прогнозные расчеты ввиду сложных водохозяйственных, геоэкологических и геолого-гидрогеологических условий произведены на разработанных численных геофильтрационной и геомиграционной моделях.

Для реализации численных моделей специалистами АО «Северо-Западного ПГО» использован лицензионный программный комплекс Processing ModFlow v. 8 – PM-8. Выбранное программное средство соответствует сложности решаемой задачи, необходимой точности решения, его устойчивости и сходимости.

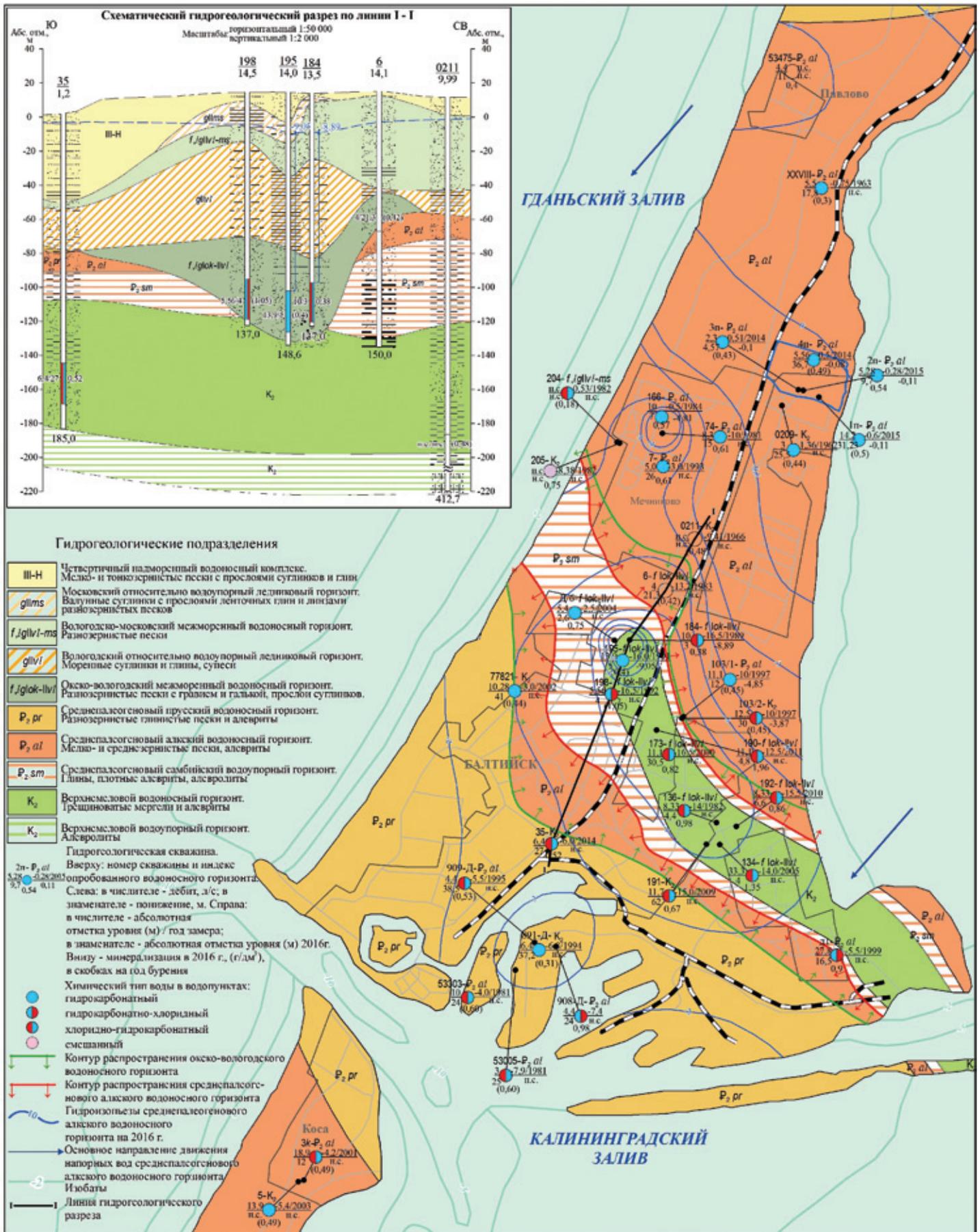
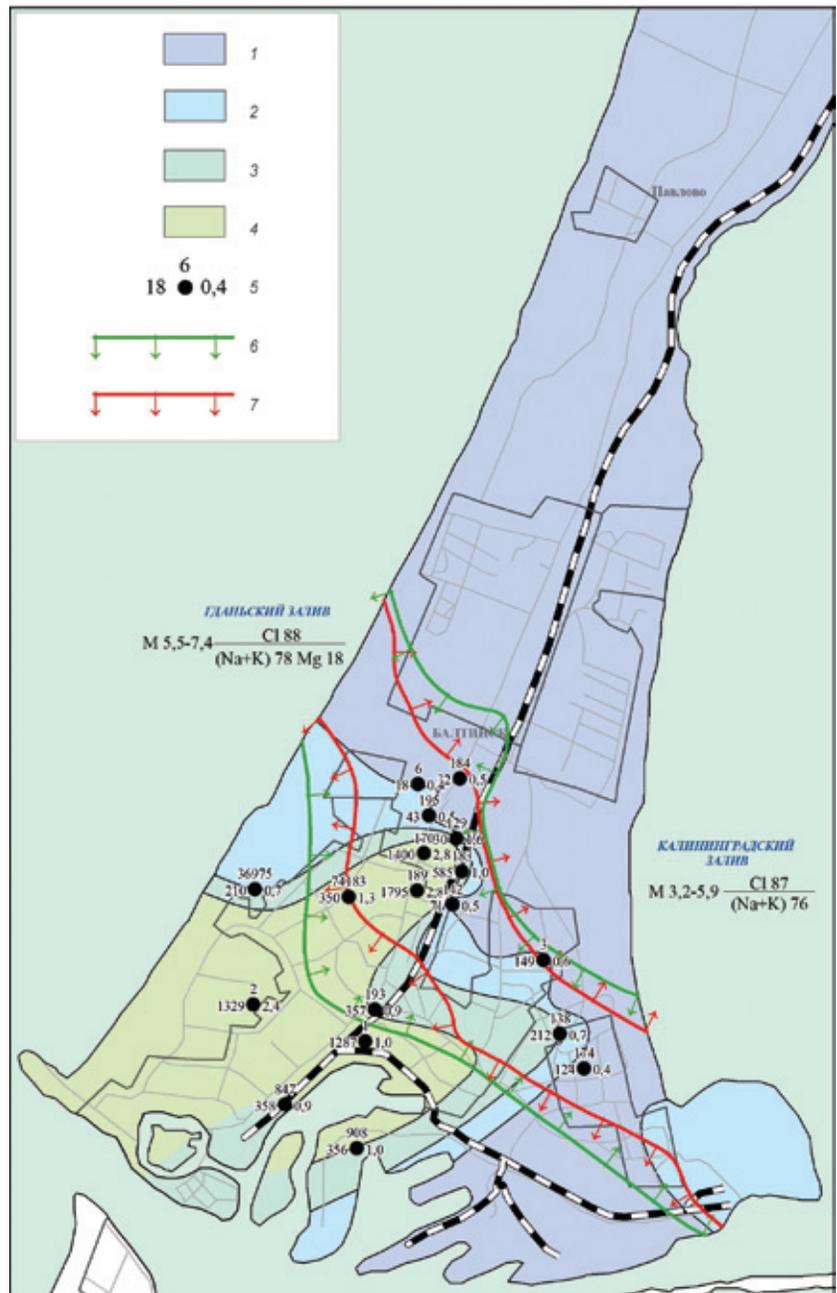


Рис. 2. Схематическая гидрогеологическая карта дочетвертичных отложений (масштаб 1 : 50 000)



**Рис. 3. Выкопировка с гидрохимической схемы водозабора г. Балтийск по состоянию на 03.1997**

1–4 – минерализация подземных вод в окско-вологодском и среднепалеогеновом водоносных горизонтах (г/дм<sup>3</sup>): 1 – < 0,5, 2 – 0,5–0,7, 3 – 0,7–1,0, 4 – > 1,5; 5 – гидрогеологическая скважина: сверху – номер скважины, слева – содержание хлоридов (мл/дм<sup>3</sup>), справа – минерализация по состоянию на 03.1997 (г/дм<sup>3</sup>), в скобках – по данным разновременных замеров; 6, 7 – контур распространения водоносного горизонта: 6 – окско-вологодского, 7 – среднепалеогенового алкского

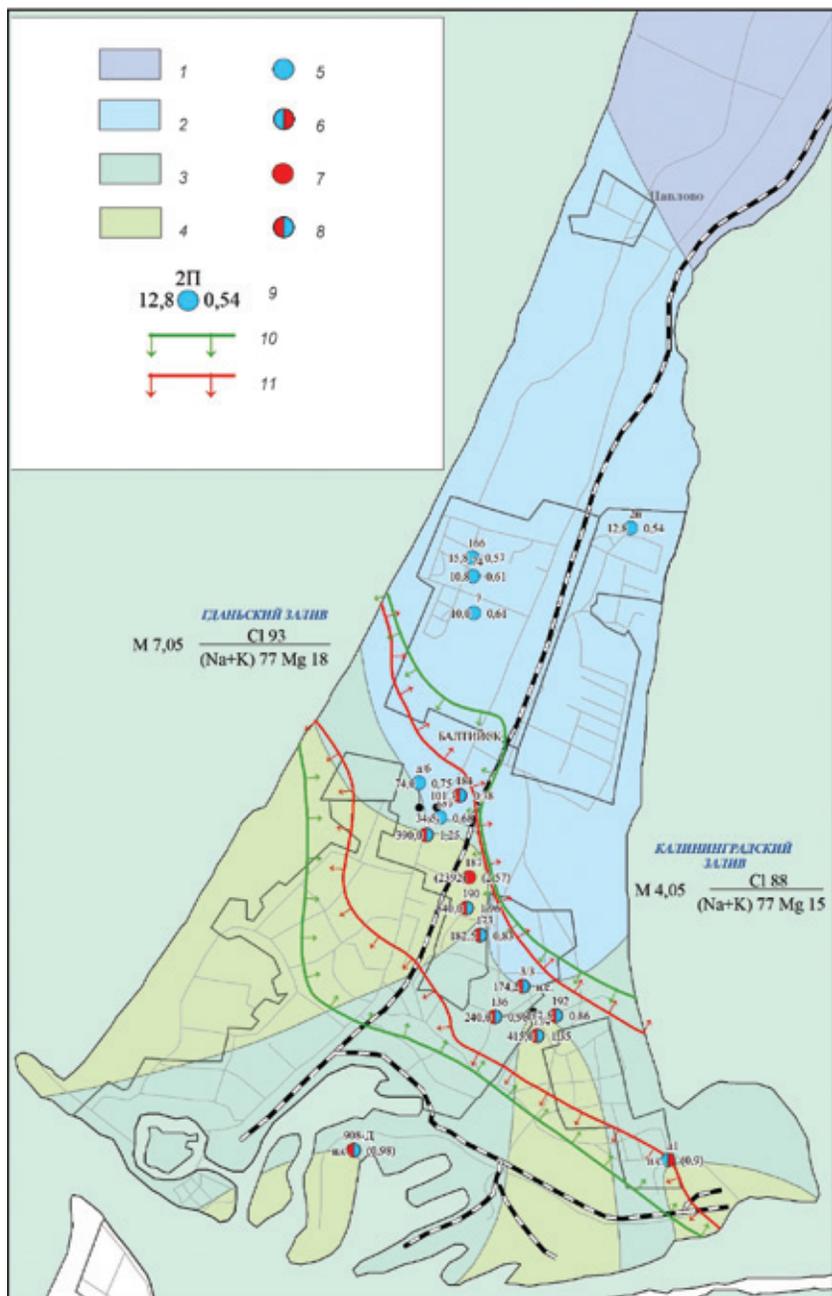
При подсчете запасов проанализирован водный баланс территории, показаны основные приходные и расходные статьи баланса, оценены вклад привлекаемых ресурсов со стороны заливов и величина перехвата естественного потока.

Реализация моделей и детальное освещение численных решений заслуживает отдельного рассмотрения, поэтому здесь представляем только основные результаты.

Выполненные прогнозные расчеты показали, что на участке проектного водозабора, расположенного в 4 км севернее центрального водозаборного узла, понижение уровня в соседних водозаборных скважинах не превысит допустимых значений. А величина общей минерализации не превысит установленных нормативных значений по Сан-ПиН 2.1.4.1074-01 к концу 25-летнего периода эксплуатации [2].

**Выводы.** Эксплуатационные запасы пресных подземных вод питьевого назначения в пределах района работ ограничены. В пределах месторождения подземных вод наблюдается сложная корреляционная зависимость между показателями водотбора в каждой конкретной скважине, величиной содержания в ней химических некондиционных показателей (минерализация, хлориды) и уровнями подземных вод во временном разрезе.

При интенсивной эксплуатации сложилась локальная гидродинамическая система взаимосвязи водоносных горизонтов и морских вод, которая может функционировать под воздействием как техногенных, так и естественных факторов (термодинамических, гидродинамических, физико-химических, миграционных процессов) до тех пор, пока между ними не наступит гидродинамического равновесия. Основным фактором, обуславливающим внедрение морских вод в водоносные горизонты,



**Рис. 4. Гидрохимическая обстановка водозабора г. Балтийск по состоянию на 03.2016**

1–4 – минерализация подземных вод в окско-вологодском и среднепалеогеновом водоносных горизонтах (г/дм<sup>3</sup>): 1 – < 0,5, 2 – 0,5–0,7, 3 – 0,7–1,0, 4 – > 1,5; 5–8 – состав подземных вод: 5 – гидрокарбонатный, 6 – гидрокарбонатно-хлоридный, 7 – хлоридный, 8 – хлоридно-гидрокарбонатный; 9 – гидрогеологическая скважина: сверху – номер скважины, слева – содержание хлоридов (мл/дм<sup>3</sup>), справа – минерализация по состоянию на 03.2016 (г/дм<sup>3</sup>), в скобках – по данным разновременных замеров; 10, 11 – контур распространения водоносного горизонта: 10 – окско-вологодского, 11 – среднепалеогенового алского

является интенсивный отбор подземных вод, приводящий к снижению уровня подземных вод и захвату морских вод в области питания водозабора. Следовательно, условием, при котором прекратится засоление водоносных горизонтов, будет снижение суммарного дебита всех водозаборных сооружений района исследования до величины, при которой область их питания не будет выходить за пределы зоны пресных подземных вод (граница выклинивания водоносного горизонта в акватории Гданьского и Калининградского заливов).

При существующей величине водоотбора эксплуатация как и прежде возможна только при условии смешивания подземных вод перед подачей их в сеть (в районе палеодолины). Исходя из совокупности технико-экономических и гидрохимических условий эксплуатации в рассматриваемом районе и выполненных оценочных расчетов,

оптимальный водоотбор из одной точки (скважины) в таком случае допускается не более 1000 м<sup>3</sup>/сут. Действующие скважины, эксплуатирующие один и тот же горизонт, должны быть максимально разобщены, насколько это позволяет сложившаяся схема размещения водозаборных сооружений.

Впервые для юго-западной части Калининградского полуострова проведены систематизация и научное обобщение материалов гидрогеологических исследований, установлены закономерности распространения и залегания подземных вод, а также их гидрохимические особенности. Впервые использован метод численного моделирования для оценки эксплуатационных запасов подземных вод юго-западной части Калининградского полуострова, произведен прогноз качества подземных вод с учетом сложных гидрохимических условий.

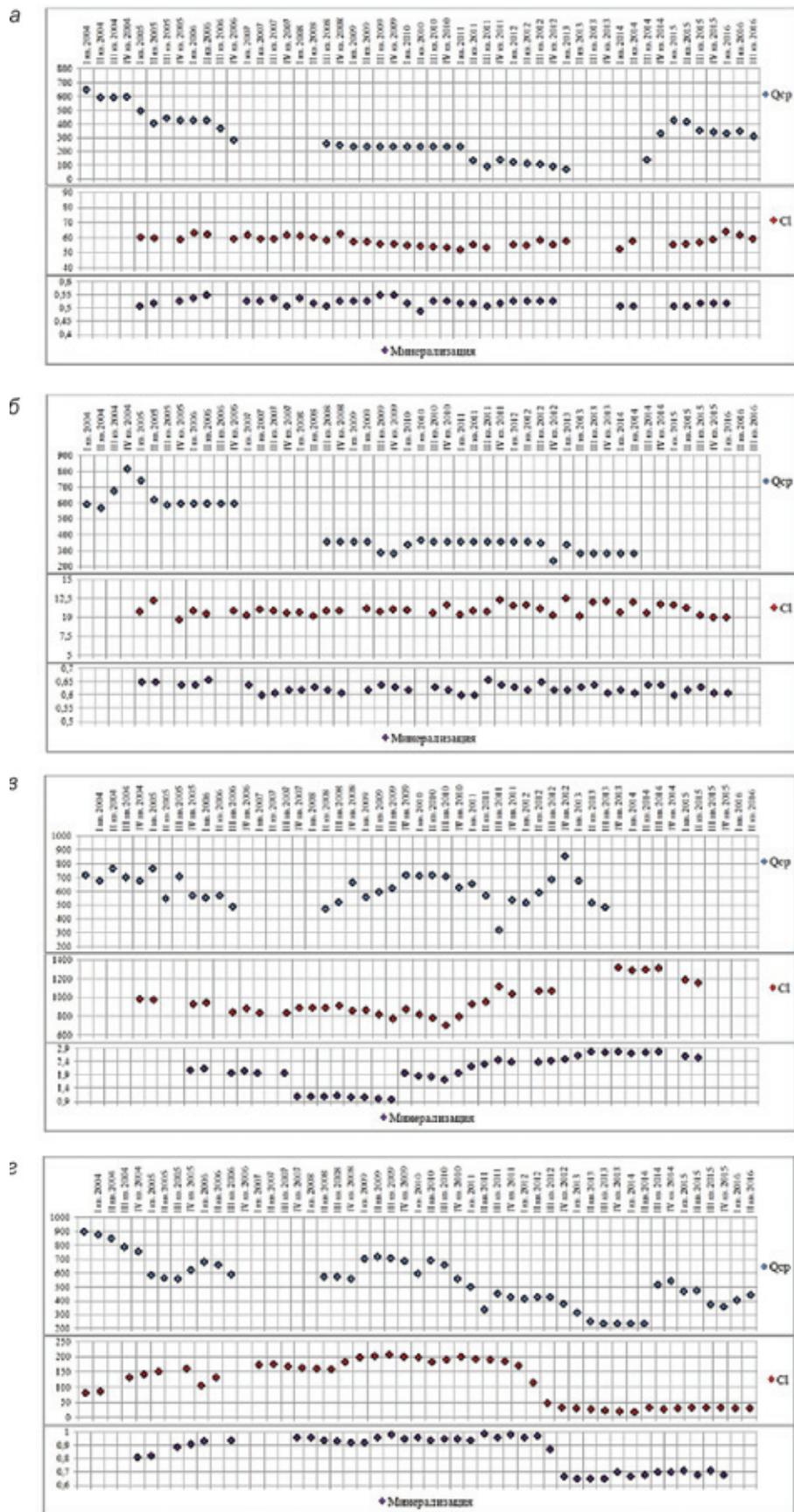


Рис. 5. Изменение общей минерализации и содержания хлоридов в подземных водах при постоянном водоотборе из скважин в 2004–2016 гг.

а – скв. 7, среднепалеозойский алкский водоносный горизонт (ВГ); б – скв. 35, верхне-меловой ВГ; в, г – скважины 187 и 139, окско-вологодский межморенный ВГ

Полученные в ходе исследований результаты позволяют говорить об определенных перспективах использования подземных вод в этом районе, а также выполнять прогнозную оценку эксплуатационных запасов подземных вод и их качественного состава до 2041 г.

---

1. Биндеман Н.Н., Язвин Л.С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод: методич. руководство. — М.: Недра, 1970. — 216 с.

2. Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н. Санитарная охрана водозаборов подземных вод. — М.: Недра, 1987. — 167 с.

3. Оценка эксплуатационных запасов питьевых и технических подземных вод по участкам недр, эксплуатируемым одиночными водозаборами: методич. рекомендации. — М.: ГИДЭК, 2002. — 61 с.

4. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. — М.: Минздрав России, 2001. — 90 с.

---

1. Bindeman N.N., Yazvin L.S. Otsenka ekspluatatsionnykh zapasov podzemnykh vod (metodicheskoye rukovodstvo) [Assessment of groundwater operational reserves: methodological guidance]. Moscow: Nedra. 1970.

2. Oradovskaya A.Ye., Lapshin N.N. Sanitarnaya okhrana vodozaborov podzemnykh vod [Sanitary protection of groundwater abstraction]. Moscow: Nedra. 1987.

3. Otsenka ekspluatatsionnykh zapasov pit'yevykh i tekhnicheskikh podzemnykh vod po uchastkam neдр, ekspluatiruyemykh odinochnymi vodozaborami: metodich. rekomendatsii [Estimation of operational reserves of drinking and technical groundwater in subsoil plots exploited by single water intakes: methodological recommendations]. Moscow: GIDEK. 2002.

4. SanPiN 2.1.4.1074-01. Pit'yevaya voda. Gigiyenicheskiye trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'yevogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva. Gigiyenicheskiye trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti sistem goryachego vodosnabzheniya [SanPiN 2.1.4.1074-01. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Hygienic requirements for ensuring the safety of hot water systems]. Moscow: Minzdrav Rossii. 2001.

---

Семенчук Александр Владимирович — начальник лаборатории моделирования, АО «Северо-Западное ПГО». Ул. Одоевского, 24, к. 1, Санкт-Петербург, 199155, Россия. <aleksandr.s-k@mail.ru>

Semenchuk Alexandr Vladimirovich — Head of Modeling Laboratory, JSC «North-West PGA». 24/1 ul. Odoevskogo, St. Petersburg, 199155, Russia. <aleksandr.s-k@mail.ru>