

**Федеральный исследовательский центр комплексного изучения
Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, г. Архангельск**



Цифровое моделирование рельефа в оценке состояния подземных вод

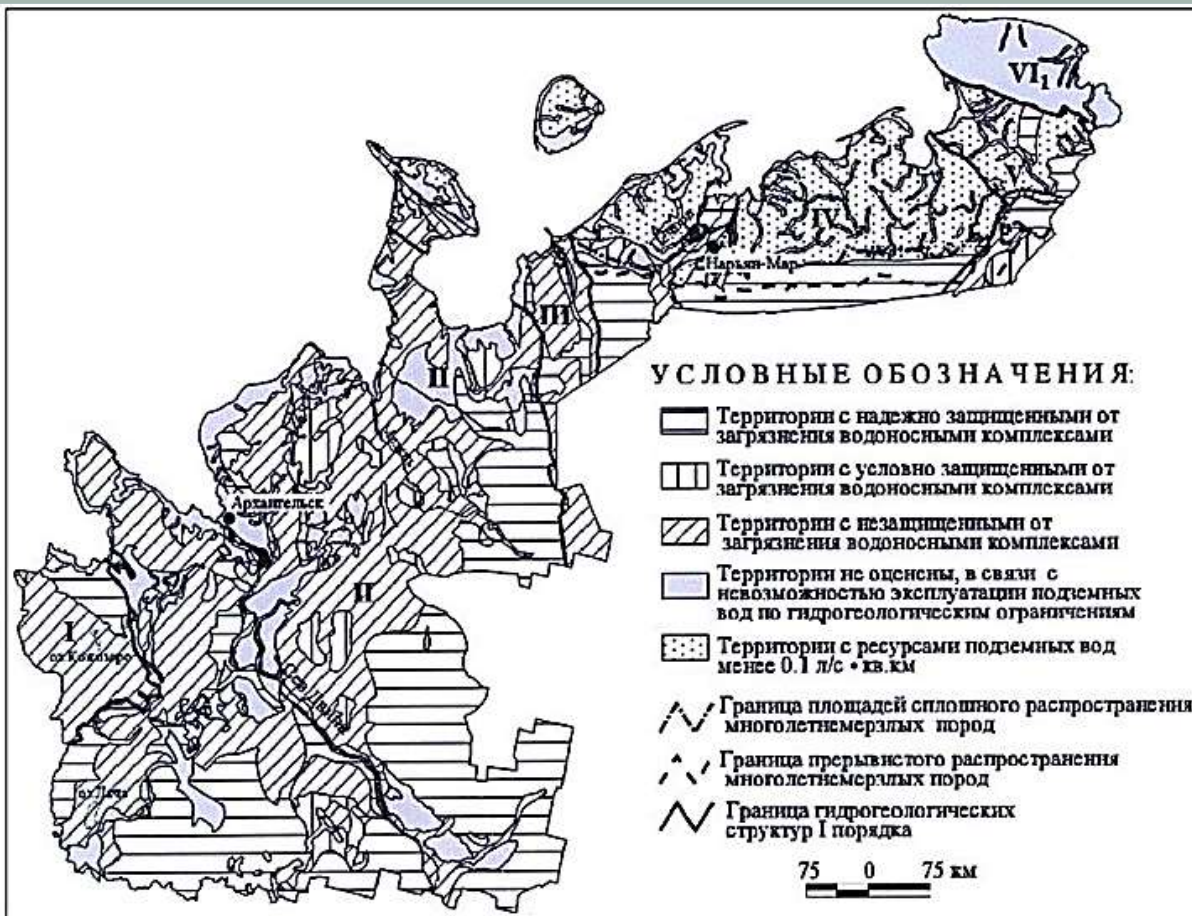
Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л.

Москва, ИКИ РАН, 11-15 ноября 2019 г.

Одним из индикаторов экологического состояния природной среды являются подземные воды, пригодные для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Использование ресурсов подземных вод относится к одной из жизнеобеспечивающих функций литосферы. С этих позиций экологическая значимость пресных подземных вод особых пояснений не требует. Основной задачей устойчивого природопользования в данной сфере является рациональное использование гидроресурсов и снижение их загрязнения выбросами, сбросами и отходами.

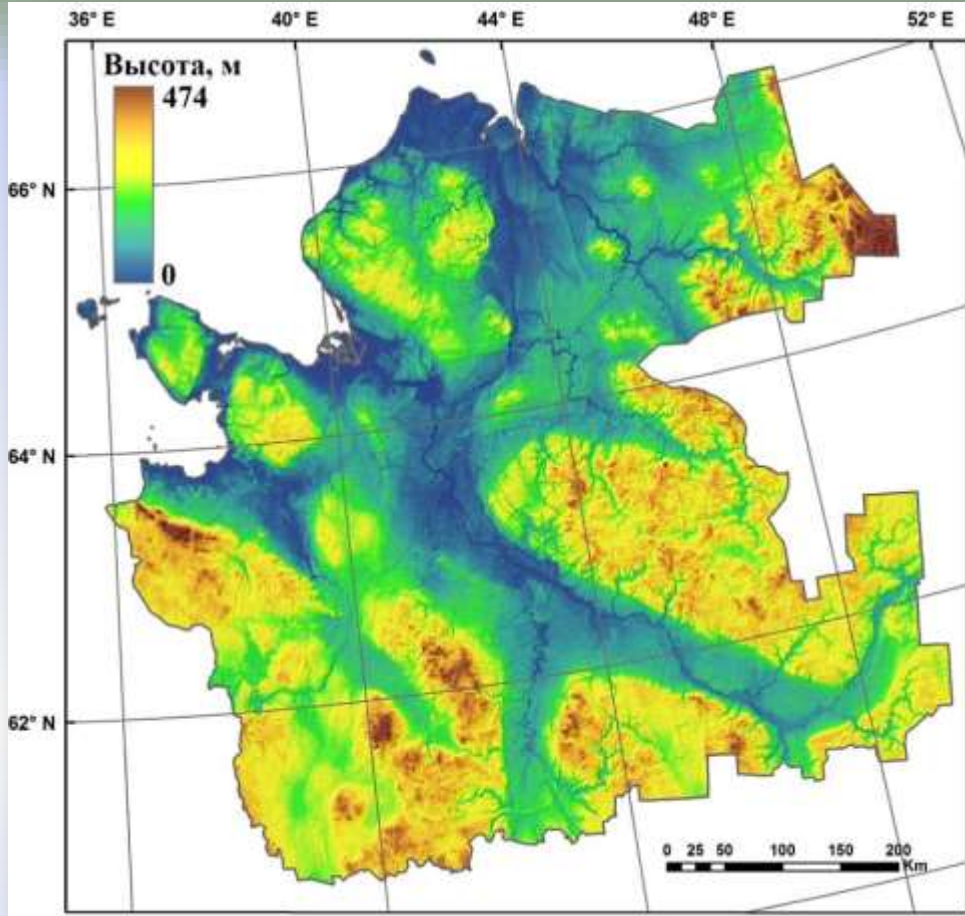
Целью данного доклада является показать возможность применения цифрового моделирования рельефа для оценки состояния подземных вод.



Карта защищенности подземных вод от загрязнения, по (Губайдуллин, 2002)

По степени природной защищенности водоносные комплексы на значительной части территории (50%) относятся к не защищенным и условно защищенным от загрязнения.

- мощность;
- литологический состав;
- фильтрационные свойства покровных и перекрывающих водоносный горизонт отложений;
- наличие или отсутствие литологических, тектонических и геохимических барьеров.

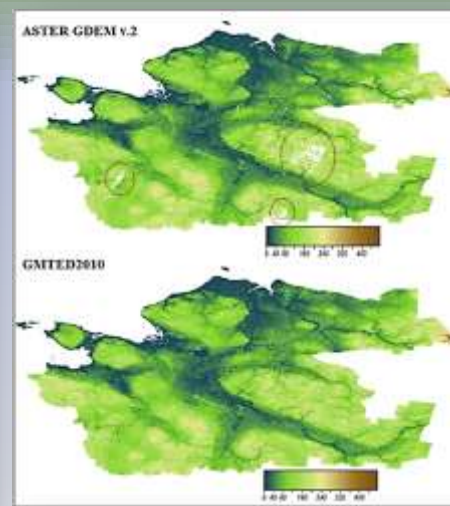


ЦМР Архангельской области

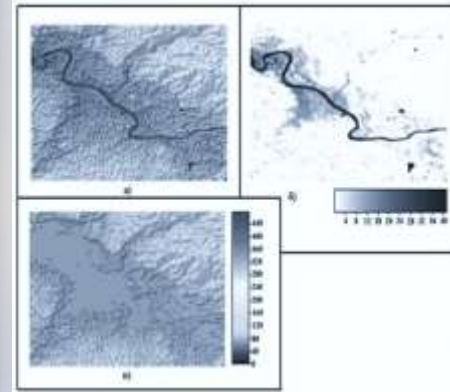
- Минеев А.Л., Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Методические аспекты создания цифровой модели рельефа Архангельской области на основе ASTER GDEM V. 2 // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2; URL: www.science-education.ru/129-21949

- Минеев А.Л., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Полякова Е.В. Подготовка цифровой модели рельефа для исследования экзогенных процессов северных территорий Российской Федерации // Пространство и Время, 2015. № 3(21). С. 278-291

- Минеев А.Л., Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Надёжность цифровой модели рельефа Архангельской области для проведения геоэкологических исследований // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 58-67.



Заполнение пустот в исходной модели ASTER GDEM v.2 данными GMTED2010



Пример заполнения впадин:
 а) рельеф;
 б) высота заполнения;
 в) рельеф с заполненными впадинами

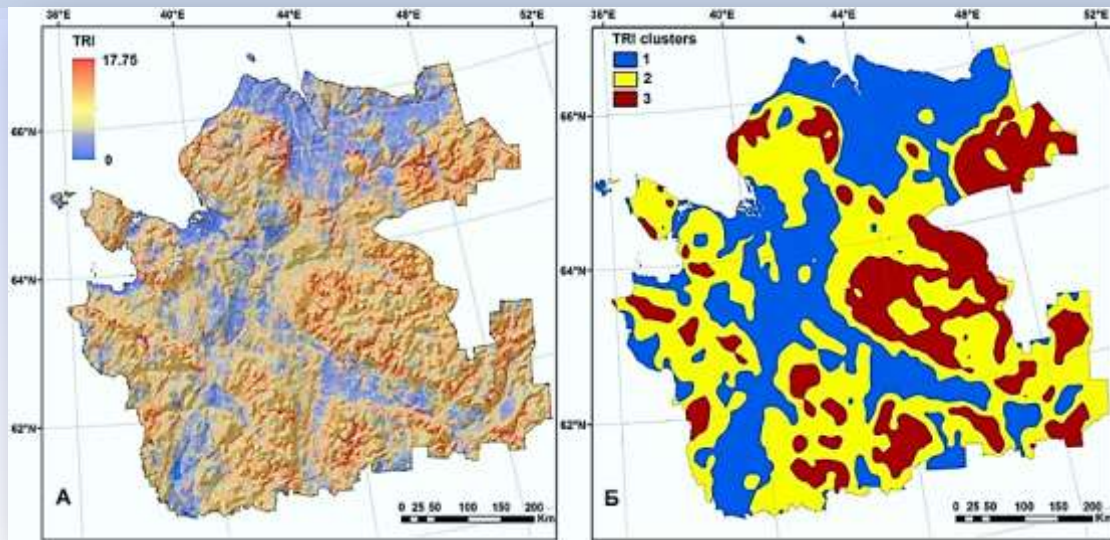


Абсолютные разности значений высот между данными с ГИС Панорама и ЦМР Архангельской области

Показатель расчлененности рельефа косвенным образом влияет на химический состав подземных вод. Чем выше неоднородность (расчлененность) рельефа, тем меньше толща перекрывающих коренные породы четвертичных отложений, тем большее количество пресных атмосферных вод достигнет водоносных толщ и путем растворения и выщелачивания пород сформирует определенный химический состав подземных вод (Джамалов и др., 1996).

В то же время, сравнительно невысокая расчлененность рельефа обуславливает и невысокую интенсивность водообмена и как следствие – более высокую минерализацию подземных вод (Зверев, 2011).

Наибольшей расчлененностью характеризуются возвышенности – Беломорско-Кулойское плато, Коношско-Няндомская возвышенность, Устьянское плато и возвышенность Двинско-Пинежского междуречья.



Индекс расчлененности рельефа (А) и его кластерные значения (Б)

Статистические параметры для кластеров индекса расчлененности рельефа

Параметры	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Минимальное	0.00	5.66	12.00
Максимальное	5.66	12.00	17.75
Среднее	3.21	8.11	15.90
Отклонение	1.76	3.05	15.04
Площадь, ячеек / км ²	202826730 / 345684.90	109495415 / 186616.98	32328202 / 55098.12
Доля, %	58.85	31.77	9.38

На территории ЮВБ водоупор присутствует только в восточной части, на западе он эродирован. В зоне свободного водообмена здесь находятся все водоносные горизонты, приуроченные к четвертичным отложениям, а также верхние части водоносных горизонтов и комплексов пермской, каменноугольной и вендской систем.

Для верхней части гидрогеологического разреза ЮВБ мощностью 100-250 м можно выделить пять основных областей развития подземных вод различного качества:

- 1) пресные кондиционные воды;
- 2) пресные некондиционные воды;
- 3) солоноватые воды;
- 4) соленые воды;
- 5) смешанные воды (Малов, 2003).

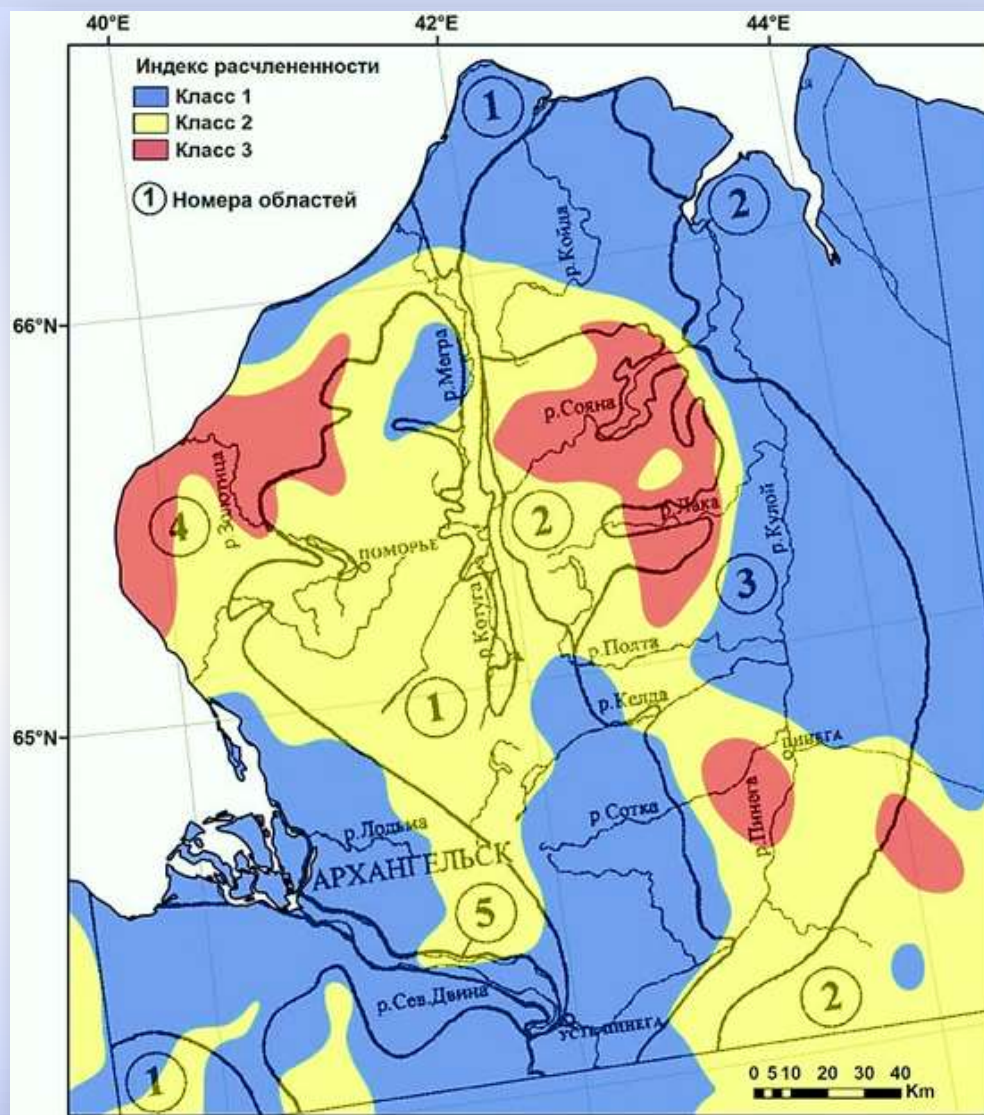


Схема областей развития подземных вод различного качества, по (Малов, 2003)

Область развития **пресных кондиционных вод (1)** включает в себя водоносные комплексы венда, среднего-верхнего карбона и ассельского яруса нижней перми, приуроченные к возвышенным частям территории

Большая мощность зоны пресных вод объясняется широким развитием в пределах данной площади переуглубленных палеодолин верхнеплиоценового возраста, которые осуществляли интенсивное дренирование и опреснение водоносных толщ с вымыванием растворимых соединений на протяжении 1-2 млн. лет.

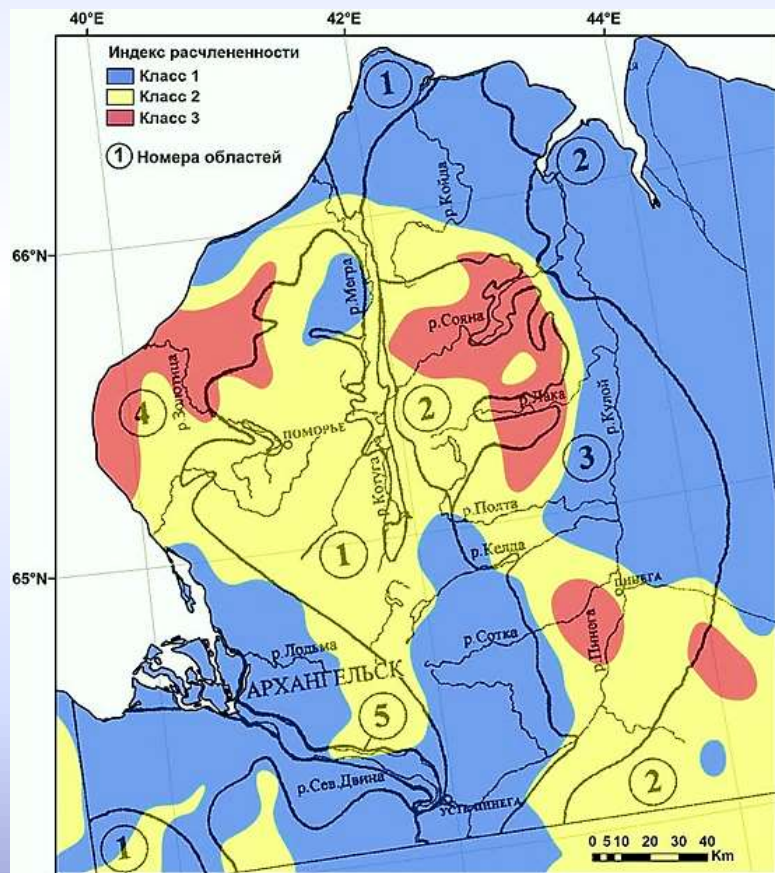


Схема областей развития подземных вод различного качества

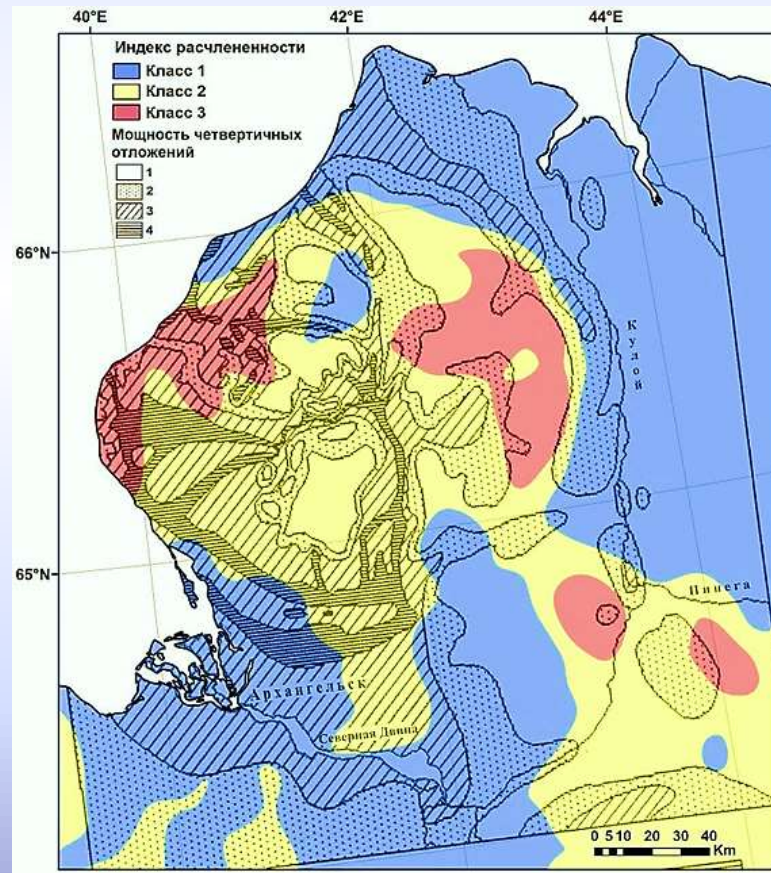


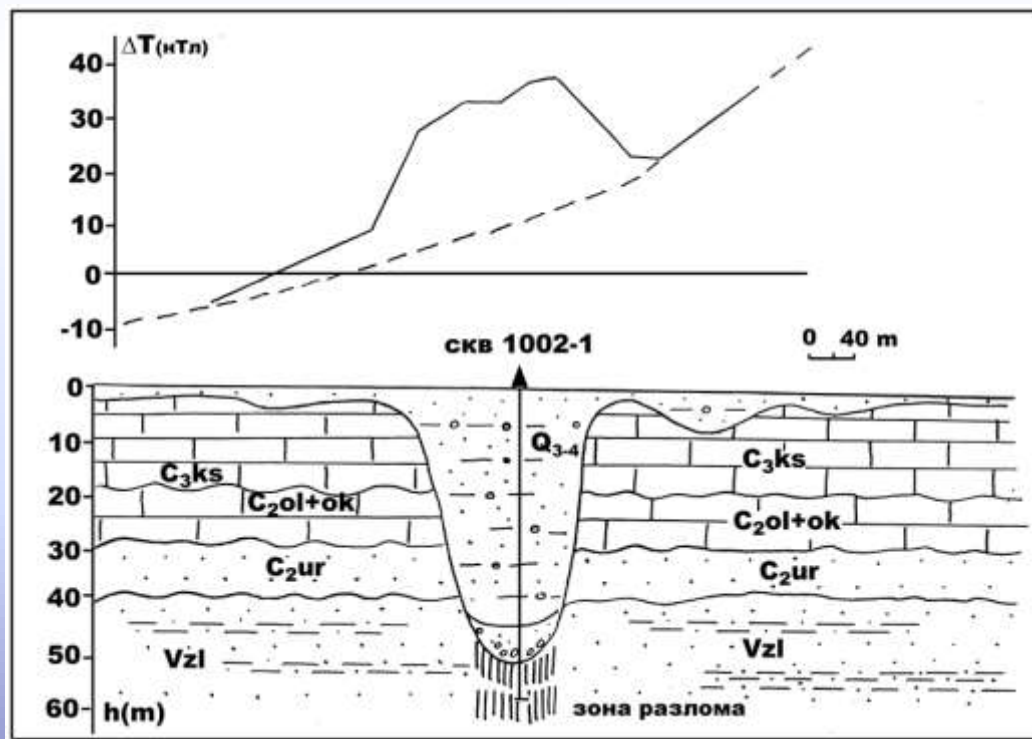
Схема мощностей четвертичных отложений ЮВБ:
1 – до 10 м, 2 – 10-20 м, 3 – 20-100 м, 4 – >100 м

В четвертичное время на составе подземных вод этой площади практически не отразилось воздействие морских трансгрессий. Для нее характерен маломощный чехол четвертичных отложений преимущественно песчано-супесчаного состава, значительная расчлененность рельефа, что способствует повышенной инфильтрации атмосферных осадков.

Современная активизация разломов, закарстованность территории, способствует формированию эффективной зоны взаимосвязи подземных вод с поверхностными условиями. Так, в зоне разлома происходит процесс разубоживания минерализованных вод пресными, что отображается на петромагнитной модели и является свидетельством современных геохимических процессов.

На площади развития пресных подземных вод могут быть размещены водозаборы для централизованного водоснабжения таких крупных городов, как Архангельск, Северодвинск, Новодвинск. Наиболее подходящим местом для их сооружения являются долина верхнего течения р. Пачуги и оз. Пачозеро, расположенные в 40-80 км северо-восточнее Архангельска. Здесь находится Пачугское месторождение пресных подземных вод с прогнозными запасами порядка 500 тыс. м³/сут (Малов, 2004).

Пример петромагнитной модели палеодолины



Область развития **пресных некондиционных вод (2)** связана с водоносными комплексами нижней и верхней перми. В качестве некондиционных вод выделены в связи с наличием в разрезе водоносной толщи уфимских отложений верхней перми целестина, обуславливающего присутствие в подземных водах повышенных концентраций стронция.

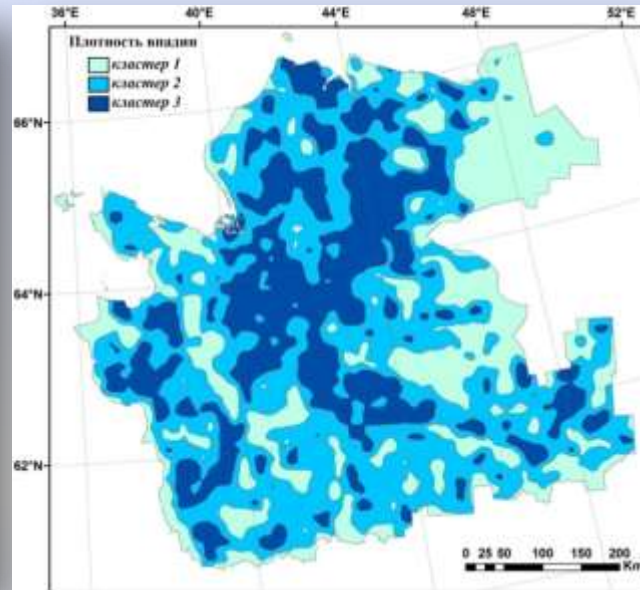
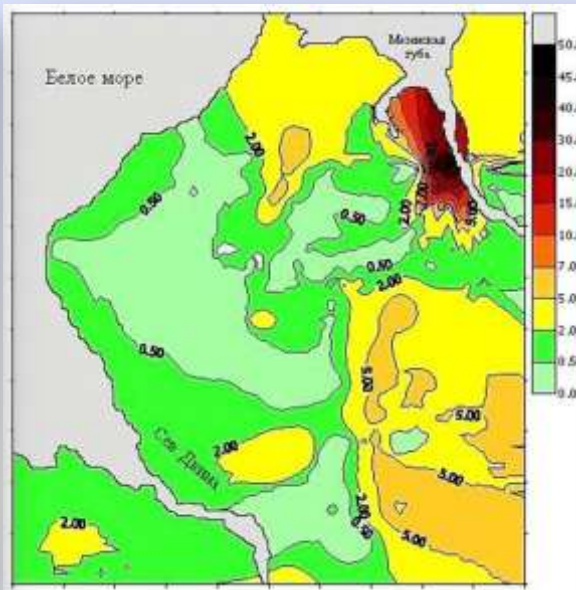
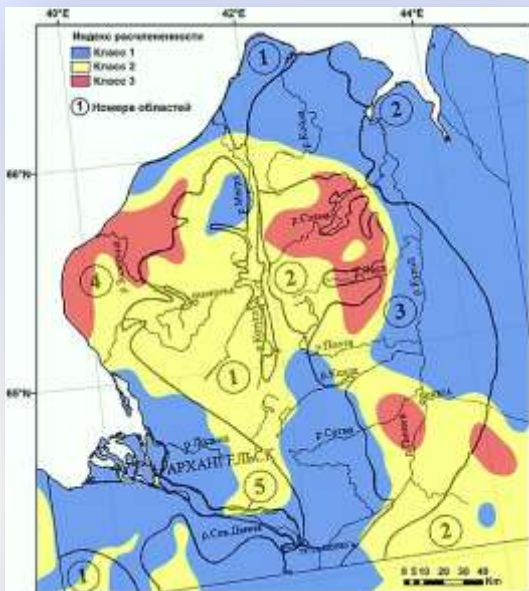


Схема областей развития подземных вод различного качества

Схема распределения стронция в подземных водах первого от поверхности водоносного горизонта для территории ЮВБ, по (Полякова, 2005, 2009, 2012)

Карта плотности бессточных впадин, кластеры

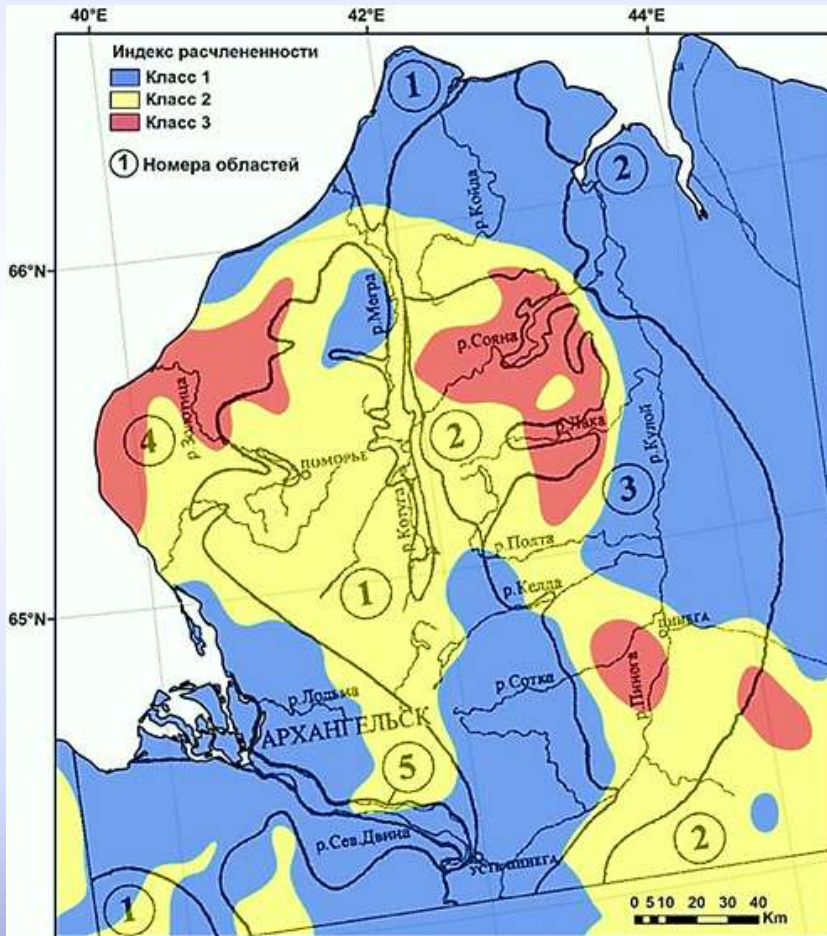
- минимальная мощность (вплоть до полного отсутствия) перекрывающих четвертичных отложений;
- высокая водопроницаемость пород ($1050 \text{ м}^2/\text{сут}$);
- низкий индекс расчлененности рельефа;
- зона аккумуляции материала (максимальной плотности бессточных впадин).

В работе (Флоринский, 2010) отмечается, что **«накапливаемые в зонах относительной аккумуляции вещества могут закрепляться в почве и грунтах, вновь участвовать в поверхностном массопереносе в период весеннего снеготаяния и вовлекаться в процесс нисходящей миграции по трещинам горных пород. При нисходящей миграции солей и поллютантов возможна минерализация и загрязнение водоносных горизонтов».**

Таким образом, сезонность промывания казанских водовмещающих пород способствует, с одной стороны, максимальному вымыванию стронция из пород в пресные подземные воды, с другой, - его концентрации в них вследствие малого разбавления атмосферными осадками. В связи с этим, в зонах относительной аккумуляции целесообразно проводить гидрогеологический мониторинг и защитные мероприятия.

Область развития **солончатых вод (3)** приурочена к областям распространения гипсов и ангидритов нижней перми, а также огипсованных песчаников и алевролитов верхней перми. Расположена в понижениях рельефа в долине р. Кулой и его левых притоков.

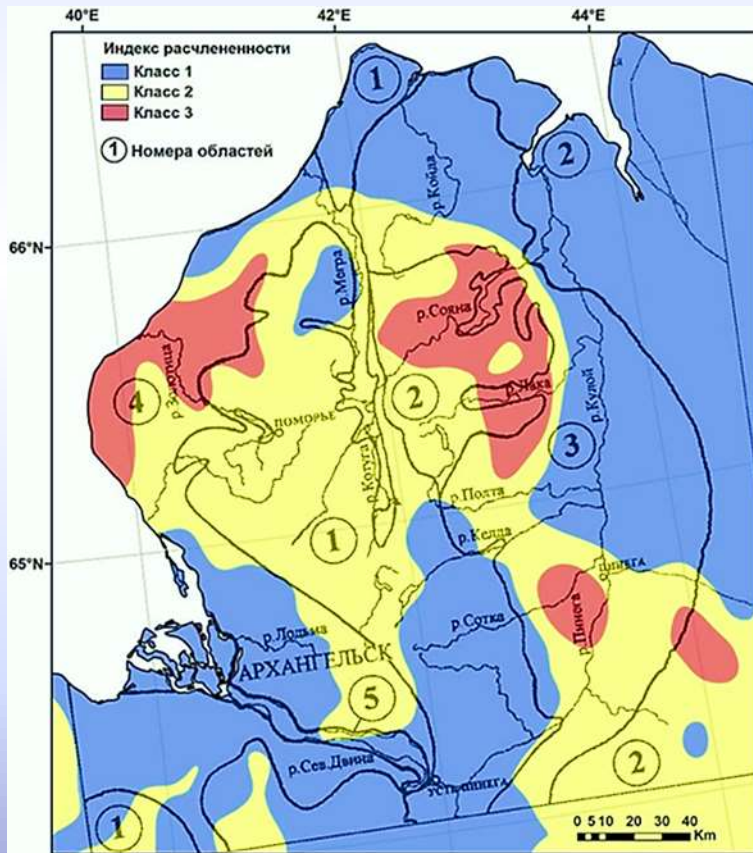
Мощность чехла перекрывающих четвертичных отложений в пределах площади солончатых вод минимальна, что способствует активному развитию на этой территории современных экзогенных процессов, прежде всего, карстовых.



Агрессивное воздействие атмосферных осадков в этой зоне является максимальным. За счет значительной расчлененности и высокой проводимости пород ($2500 \text{ м}^2/\text{сутки}$) проникающие атмосферные осадки обеспечивают растворение включений гипса и ангидрита в карбонатных породах, что способствует смене гидрокарбонатного магниево-кальциевого химического состава подземных вод на сульфатно-кальциевый с минерализацией 2-2,5 г/л.

Схема областей развития подземных вод различного качества

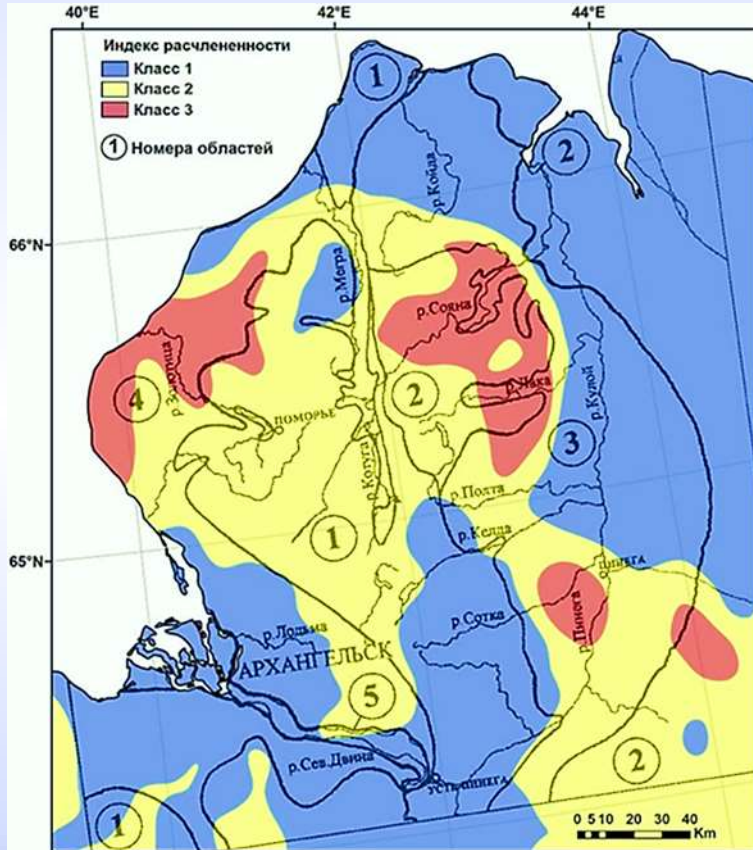
Для площади развития **соленых вод (4)** характерна повышенная мощность чехла кайнозойских образований. В разрезах кайнозойских образований преобладают глины и суглинки морского и ледникового происхождения, они играют экранирующую роль для водоносных комплексов дочетвертичных пород, затрудняя их питание атмосферными осадками и опреснение. Кроме того, морские глины содержат практически не опресненные поровые воды с минерализацией до 35 г/л, что является выше таковой соленых вод в нижележающих водоносных комплексах (порядка 10-27 г/л). Это обуславливает дополнительный фактор формирования соленых вод (Малов, 2003).



Таким образом, несмотря на высокие значения индекса расчлененности рельефа, водоносные комплексы венда, перекрытые с поверхности мощным слоем четвертичных образований, а также имеющие водоупор в виде микулинских глин, оказываются защищенными от растворяющей и опресняющей деятельности атмосферных осадков.

Схема областей развития подземных вод различного качества

Смешанные воды (5) характерны для водоносных комплексов четвертичных отложений речных долин. Долина р. Северной Двины прорезана в микулинских и валдайских глинах и суглинках. Верхняя часть разреза представлена 3-8-метровым слоем суглинков, глин и супесей, что затрудняет инфильтрационное питание водоносного комплекса. При слое атмосферных осадков 500 мм в год на инфильтрацию уходит порядка 20 % (Малов, 2003).



В водоносном комплексе речной долины присутствуют как пресные, так и соленые воды. Однако их смешению препятствует максимальная толща перекрывающих отложений и низкая расчлененность рельефа, что также защищает соленые воды от деятельности атмосферных осадков; а также глинистый микулинский водоупор.

Схема областей развития подземных вод различного качества

Таким образом, на равнинных территориях индекс расчлененности рельефа отражает химический состав подземных вод. Высокая расчлененность рельефа, малая толща перекрывающих коренные породы четвертичных отложений, отсутствие водоупора способствуют опреснению подземных вод за счет проникновения ультрапресных атмосферных осадков. Низкая расчлененность рельефа обуславливает и невысокую интенсивность водообмена и, как следствие, – более высокую минерализацию подземных вод.



Спасибо за внимание!