

В. КАРИЗЕ

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА ВОД ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОЙ ЭСТОНИИ

Воды четвертичных отложений являются в Южной Эстонии основным источником сельского, а местами и городского водоснабжения. С ними приходится повсюду сталкиваться при мелиорации земель и строительстве. Питаются ими также воды нижележащих девонских водоносных горизонтов. Несмотря на большое прикладное значение, воды четвертичных отложений Эстонии изучены сравнительно слабо. Особенно мало изучены вопросы формирования химического состава этих вод.

Территория Эстонии входит в лесную зону. По исследованиям советских гидрогеологов И. Гармонова (1948), Г. Каменского (1949), В. Духаниной (1958), А. Силина-Бекчурина (1958) и др., грунтовые воды образуются в этой зоне за счет инфильтрации атмосферных осадков, причем химический состав их в условиях избыточного увлажнения формируется путем выщелачивания пород. Эти воды мало минерализованные, а по гидрохимическому типу относятся к гидрокарбонатным магниевно-кальциевым. При этом вопрос о максимальной естественной минерализации вод ледниковых отложений до сих пор не был решен. Лишь в последние годы выяснено, что важную роль в формировании химического состава грунтовых вод играет минерализация атмосферных осадков (Зверев, 1962, 1963 и др.).

Закономерности формирования состава вод четвертичных отложений являются, по-видимому, общими для всей территории северо-западной части Советского Союза, где распространяются ледниковые отложения и химический состав грунтовых вод формируется путем выщелачивания пород.

Знание закономерностей формирования позволяет правильно оценить качество подземных вод и классифицировать их в четвертичных отложениях, а также и в коренных породах в зоне активного водообмена. Мощность этой зоны, по данным А. Верте (1958), достигает в Южной Эстонии 200 м.

Условия формирования вод четвертичных отложений

Основные факторы, определяющие процесс формирования грунтовых вод¹, — это климат, геологическое строение и, в меньшей степени, почвенный покров и растительность местности. Эти факторы, кроме геологического строения, являются зональными. Они предопределяют общую направленность хода формирования химического состава вод.

Климат Эстонии — переходный от морского к континентальному (Агроклиматический справочник, 1960). Господствующие юго-западные ветры приносят на территорию республики относительно теплые зимой

¹ Воды четвертичных отложений Эстонии относятся к грунтовым водам.

Химический состав вод четвертичных

Типы вод	Генетические типы водовмещающих пород	Количество анализов воды	Содержание в воде главных			
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ [']
Атмосферные осадки	—	14	$\frac{0,5-8,0}{3,7}$	$\frac{0,0-3,7}{0,8}$	$\frac{0,3-9,2}{2,6}$	$\frac{4,8-35,0}{11,2}$
Воды в четвертичных отложениях	Торф верховых болот	10	$\frac{1,0-7,7}{3,1}$	$\frac{0,0-1,6}{0,5}$	$\frac{1,0-7,8}{3,2}$	$\frac{12,0-30,0}{16,5}$
	Пески (золотые, лимни- гляциальные, прибрежно- морские и др.) вблизи верховых болот	12	$\frac{6,0-20,0}{10,2}$	$\frac{2,0-8,0}{3,6}$	$\frac{2,0-20,0}{9,8}$	$\frac{15,0-73,0}{47,0}$
	Пески разного генезиса (лимнигляциальные, флювиогляциальные, аллювиальные, прибрежно- морские)	60	$\frac{20,0-50,0}{41,0}$	$\frac{4,0-17,0}{10,8}$	$\frac{2,0-20,0}{9,6}$	$\frac{73,0-220,0}{170,0}$
	Песчано-гравийные флю- виогляциальные отложе- ния; под- и внутримо- ренные пески и гравий; морена	1320	$\frac{40,0-95,0}{68,5}$	$\frac{11,0-30,0}{18,7}$	$\frac{2,0-20,0}{9,0}$	$\frac{220,0-400,0}{295,0}$
	Загрязненные грунтовые воды в разных типах четвертичных отложений	570	90—300	25—300	20—600	350—1200

* В числителе приведены минимальные и максимальные содержания компонентов,

** Гидрохимический тип воды приведен в порядке возрастания анионов и

Таблица 1

отложений Южной Эстонии

компонентов, мг/л*		Общая	Карбонатная	Общая минерализация вод, мг/л	Гидрохимические типы вод **
SO ₄ ^{''}	Cl'	жесткость вод, мг-экв			
$\frac{0,0-10,9}{4,6}$	$\frac{1,4-5,5}{3,0}$	$\frac{0,02-0,7}{0,19}$	$\frac{0,08-0,57}{0,18}$	до 50	Хлоридно-гидрокарбонатный и сульфатно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый и кальциево-натриевый и др.
$\frac{1,0-6,8}{3,2}$	$\frac{0,9-7,0}{5,0}$	$\frac{0,05-0,52}{0,16}$	$\frac{0,2-0,49}{0,27}$	до 50	Хлоридно-гидрокарбонатный и сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый и кальциево-натриевый и др.
$\frac{2,0-20,0}{11,0}$	$\frac{2,0-20,0}{9,0}$	$\frac{0,46-1,65}{0,8}$	$\frac{0,25-1,2}{0,77}$	50—100	Хлоридно-гидрокарбонатный и сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный магниевонатриево-кальциевый и магниевонатриево-кальциево-натриевый и др.
$\frac{2,0-20,0}{11,5}$	$\frac{2,0-20,0}{9,0}$	$\frac{1,35-3,9}{2,9}$	$\frac{1,2-3,6}{2,8}$	100—200	Гидрокарбонатный магниевонатриево-кальциевый
$\frac{2,0-20,0}{11,2}$	$\frac{2,0-20,0}{9,1}$	$\frac{2,9-7,2}{4,96}$	$\frac{3,6-6,6}{4,84}$	200—350	Гидрокарбонатный магниевонатриево-кальциевый
20—300	20—600	6,5—40,0	5,6—20,0	350—3500	Гидрокарбонатный магниевонатриево-кальциевый; хлоридно-гидрокарбонатный и гидрокарбонатно-хлоридный кальциево-натриевый и магниевонатриево-кальциевый и др.

в знаменателе — среднее арифметическое содержание.

катионов, начиная с 20% экв.

и прохладные летом воздушные массы. Средняя многолетняя годовая температура воздуха в Эстонии 4—6°С. Наибольшее количество осадков (650—700 мм в год) выпадает на юго-западных склонах возвышенностей, наименьшее (500—600 мм) — на прибрежных низменностях. Средняя многолетняя годовая сумма осадков в Южной Эстонии равна 600 мм. Количество осадков почти в два раза превышает испарение. Только в июне и июле испарение превышает количество выпавших осадков. Таким образом, климат в Эстонии в общем влажный и мягкий.

В Южной Эстонии встречаются все генетические типы четвертичных отложений, характерные для области распространения последнего оледенения. Наиболее широко распространены плейстоценовые гляциальные, флювиогляциальные и лимнигляциальные отложения. Из послеледниковых отложений больше всего распространен торф. Аллювиальные, делювиальные, озерные, прибрежно-морские и эоловые отложения встречаются ограниченно. Мощность четвертичных отложений в Южной Эстонии составляет 1—10 м на равнинах и до 60—150 м на возвышенностях и в погребенных долинах (Орвику, 1960). Грунтовые воды встречаются во всех типах четвертичных отложений, но водообильность их колеблется в широких пределах. Под четвертичными отложениями залегают повсюду средне- и верхнедевонские песчаники и алевролиты, а на самом юго-востоке — карбонатные породы верхнего девона.

Среди почв Южной Эстонии преобладают дерново-средне- и слабо-подзолистые разновидности, образующиеся главным образом на супесчаной или суглинистой красно-бурой морене (Lillema, 1958). На песках разного генезиса (лимнигляциальные, флювиогляциальные, прибрежно-морские, эоловые и др.) распространены типичные подзолистые почвы. Сравнительно широко распространяются еще подзолисто-болотные и болотные почвы. Таким образом, характерными для Южной Эстонии являются малопродуктивные почвы, из которых растворимые соединения (в том числе и карбонаты) практически полностью вынесены (Гармонов, 1948; Lillema, 1958; Раукас, 1962б; Рейнтам и Раукас, 1965б и др.).

Рассматриваемая территория находится в зоне смешанных и хвойных лесов с преобладанием (около 75%) последних. Леса покрывают около 32% территории республики. Приблизительно 30% территории республики занимают луга и пастбища, около 20% — болота и 20% пашни (Агроклиматический справочник, 1960).

Согласно приведенным условиям подземные воды в четвертичных отложениях Южной Эстонии залегают неглубоко: обычно на глубине менее 10 м, редко до 25 м (Karise, 1961). По гидрохимическому типу они в основном гидрокарбонатные магниево-кальциевые (Силин-Бекчурин, 1958; Верте, 1960, 1965; Karise, 1961). В узкой прибрежной полосе на побережье Пярнуского залива встречаются и хлоридно-гидрокарбонатные натриево-магниево-кальциевые и другие типы вод (Силин-Бекчурин, 1958; Верте, 1965). Общая минерализация незагрязненных вод четвертичных отложений Южной Эстонии не превышает 0,35 г/л (Karise, 1961).

Химический состав вод

Формирование химического состава подземных вод представляет собой весьма сложный процесс. Кроме вышеописанных основных факторов, предопределяющих общую направленность процесса формирования грунтовых вод, химический состав вод четвертичных отложений Южной

Эстонии зависит еще от ряда местных факторов. К ним относятся литолого-минералогический состав четвертичных отложений и химический состав атмосферных осадков. Местами на формирование состава вод четвертичных отложений влияют также химический состав вод коренных пород и хозяйственная деятельность человека. Роль этих факторов описывается в следующем разделе.

В табл. 1 приведены обобщенные данные около 2000 химических анализов воды из всех генетических типов четвертичных отложений, распространенных на территории Южной Эстонии. Из этой таблицы, а также из анализа географического расположения точек опробования выявляются следующие закономерности:

1. Подземные воды с общей минерализацией ниже 50 мг/л образуются лишь в торфяниках верховых болот. В остальных типах четвертичных отложений Южной Эстонии формируются воды с минерализацией 50—350 мг/л. Воды с более высокой минерализацией (свыше 350 мг/л) в условиях Южной Эстонии загрязнены.

2. В кварцевых песках разного генезиса образуются воды с минерализацией ниже 200 мг/л, а в песчано-гравийных отложениях и в внутри- и подморенных песках минерализация воды возрастает и достигает 200—350 мг/л.

3. Воды с минерализацией 50—100 мг/л распространены в Южной Эстонии ограниченно: они встречаются в основном на Пярнуской низменности, где располагаются большие верховые болота. Мало распространены также воды с минерализацией 100—200 мг/л. Большинство вод четвертичных отложений Южной Эстонии имеет минерализацию в пределах 200—350 мг/л (в среднем около 300 мг/л).

4. В чистых (незагрязненных) подземных водах четвертичных отложений с минерализацией 50—350 мг/л увеличение минерализации происходит за счет возрастания в воде количества Ca^{++} , Mg^{++} и HCO_3^- , причем их концентрация в воде зависит от характера водовмещающей породы. Содержание $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Cl^- и SO_4^{--} с возрастанием минерализации закономерно не увеличивается, а колеблется повсюду и во всех типах пород в пределах от 2 до 20 мг/л.

5. В загрязненных водах с минерализацией свыше 350 мг/л, наоборот, резко возрастает количество $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Cl^- и SO_4^{--} , а содержание Ca^{++} , Mg^{++} и HCO_3^- увеличивается меньше. При сильном загрязнении содержание в воде $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Cl^- и SO_4^{--} может превышать максимальное их содержание в чистой воде в 20—40 раз, содержание Mg^{++} — около 10 раз, а содержание Ca^{++} и HCO_3^- — не более 3 раз.

6. Воды с минерализацией 100—350 мг/л являются по своему гидрохимическому типу, за исключением вод побережья Пярнуского залива, гидрокарбонатными магниевыми-кальциевыми. Воды с минерализацией ниже 100 мг/л по гидрохимическому типу разные, чаще всего хлоридно-гидрокарбонатные или сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатные магниевые-натриево-кальциевые или магниевые-кальциевые-натриевые и др., т. е. по своему гидрохимическому типу они близки к атмосферным осадкам.

7. Химический состав загрязненных вод различен, так как содержание разных компонентов возрастает в них неравномерно. По гидрохимическому типу сильно загрязненные воды чаще всего хлоридно-гидрокарбонатные или гидрокарбонатно-хлоридные кальциевые-натриевые или магниевые-натриево-кальциевые и др. При малом загрязнении гидрохимический тип воды может и не изменяться, т. е. сохраняется первоначальный гидрокарбонатный магниевый-кальциевый тип воды.

Местные факторы формирования химического состава вод

Литолого-минералогический состав водовмещающих пород. Наиболее распространенным типом четвертичных отложений в Южной Эстонии является морена последнего (валдайского) оледенения (Орвику, 1956). Атмосферные осадки, проникающие в грунт, фильтруются частично и через моренный покров, супесчаные разновидности которого мощностью до 10—12 м являются лишь относительным водоупором (Игнатовичус, 1962).

Литологический и минералогический состав морен Эстонии сравнительно хорошо изучен (Орвику, 1958; Раукас, 1961 а, б; 1962 а, б; Раукас и Рейнтам, 1965а и др.). Установлено, что растворимые в воде соединения встречаются в моренах в небольших количествах. Из всех минералов, найденных в алевритовых и песчаных фракциях морен, около 95% падает на долю кварца, карбонатов и полевых шпатов. Преобладающими в моренах Эстонии являются песчаная, алевритовая и пелитовая фракции. Содержание карбонатов уменьшается в сторону песчаных фракций, но в алевритовой и пелитовой фракциях снова увеличивается (Орвику, 1958). Таким образом, основное количество карбонатов в морене сосредоточено в алевритовой и пелитовой фракциях, составляющих основную часть гранулометрического спектра морены. Карбонаты составляют в морене последнего оледенения Южной Эстонии в среднем 15—25% от всей массы морены.

Флювиогляциальные песчано-гравийные отложения в холмистом ландшафте Южной Эстонии по своему петрографо-минералогическому составу близки к морене. По данным геологической съемки в гравийной фракции их преобладают карбонаты. Песчаная фракция флювиогляциальных отложений состоит, главным образом, из кварца. По-видимому, общее количество карбонатов в песчано-гравийных отложениях близко к содержанию карбонатов в морене, т. е. 15—25%.

Зандровые пески Южной Эстонии разнозернистые, иногда содержат гравий и гальку.² Пески главным образом кварцевые (содержание кварца в песчаной фракции 60—90%). Гравий и галька состоят в основном из карбонатных пород. Общее количество карбонатов в зандровых песках меньше, чем в морене и в флювиогляциальных отложениях холмистого ландшафта.

Лимниглияльные отложения, слагающие камы, состоят в основном из мелко- и среднезернистого и зачастую алевритистого песка.³ Содержание кварца во всех фракциях превышает обычно 80%, а иногда достигает 95%. Даже в грубозернистом песке (\varnothing 0,5—1,0 мм) количество карбонатов не превышает 10%. Флювиогляциальные отложения, слагающие камы и озы, состоят из разнозернистого песка, в котором содержание гальки и гравия может превышать в некоторых случаях 50%, причем 60—90% из них состоят из карбонатных пород. Песок и алеврит содержат главным образом кварц (количество его превышает 80%).⁴

Прибрежно-морские кварцевые пески разновозрастных водоемов Балтийского моря на побережье Пярнуского залива главным образом мелко- и среднезернистые. Карбонаты в них часто полностью отсутствуют (Олли, 1959; Орвику и Орвику мл., 1960; Кессел и Раукас, 1966).

² По неопубликованным исследованиям Г. Васильева, А. Козлова, Э. Воолма и др.

³ По неопубликованным данным А. Каравина, А. Сякки и др.

⁴ По неопубликованным исследованиям К. Каяка и др.

Эоловые пески Южной Эстонии в основном мелкозернистые кварцевые. Карбонаты полностью отсутствуют (Кессел и Раукас, 1966).

Остальные типы четвертичных отложений (аллювиальные, озерные и др.) в Эстонии почти не изучены. Из-за ограниченного распространения их значение как водовмещающих пород незначительное.

Таким образом, четвертичные отложения Южной Эстонии по содержанию карбонатов разнообразны. Самыми богатыми с точки зрения содержания карбонатов являются морена и песчано-гравийно-галечные отложения, самыми бедными — разные пески, особенно прибрежно-морские и эоловые. Это обстоятельство, как уже указывалось выше, отражается в степени минерализации вод в разных по литологическому составу четвертичных отложениях.

Растворение карбонатов, как известно, зависит от количества свободной углекислоты, растворившейся в воде. Подземная вода обогащается углекислым газом при инфильтрации атмосферных осадков через почвенный покров, который благодаря микробиологическим процессам и т. п. содержит значительное количество углекислоты. Установлено, что содержание свободной углекислоты в почвенных водах часто достигает 80—100 мг/л, а иногда и больше (Шилова, 1958). В то же время минерализация вод подзолистых песчаных и целинных почв весьма мала, превышая минерализацию атмосферных осадков не более чем в 2—3 раза (Шилова, 1964)⁵. Из-за малой минерализации и высокого содержания свободной углекислоты почвенные воды отличаются сильной агрессивностью, благодаря чему они и способны растворять карбонаты не только в самой почве, но и в нижележащих четвертичных отложениях.

При малом содержании или полном отсутствии карбонатов в водовмещающих отложениях агрессивность сохраняется и у грунтовых вод. Как показывают проведенные полевые исследования⁶, воды с общей минерализацией ниже 200 мг/л (т. е. воды, залегающие в песках), как ненасыщенные карбонатами, в Южной Эстонии всегда содержат агрессивную углекислоту. Воды же с минерализацией свыше 300 мг/л практически никогда не содержат агрессивной углекислоты, часто они даже пересыщены карбонатами. Воды с минерализацией 200—300 мг/л обычно находятся в состоянии карбонатного равновесия, и агрессивные воды среди них встречаются в виде исключения. Таким образом, минерализация и агрессивность подземных вод четвертичных отложений находятся в прямой зависимости от содержания карбонатов в водовмещающих породах.

Химический состав атмосферных осадков. Роль атмосферных осадков в формировании состава подземных (грунтовых) вод велика, так как с атмосферными осадками приносятся на сушу и поступают в подземные воды огромные количества минеральных веществ (Максимович, 1953; Бурксер и Федорова, 1955; Зверев, 1962, 1963 и др.). В Южной Эстонии количество растворенных минеральных соединений, приносимое с атмосферными осадками за год на сушу, составляет в среднем 14 т/км² (Karise, 1965). Основная часть этого количества попадает в подземные воды.

Из данных А. Павловой, Л. Рябошапко и др.⁷ следует, что подзем-

⁵ В скульптурных подзолистых почвах минерализация почвенных вод повышается за счет использования удобрений.

⁶ Агрессивность определена по содержанию в воде свободной углекислоты, HCO_3^- и pH .

⁷ А. М. Павлова, Л. И. Рябошапко и др., Пояснительная записка к карте естественных ресурсов зоны активного водообмена Эстонской ССР, Рукопись, 1963, Архив Ин-та геол. АН ЭССР.

ный сток на территории Южной Эстонии составляет в среднем 16%, поверхностный сток — в среднем 30% и испарение — около 54% всего количества атмосферных осадков. Следовательно, вместе с инфильтрующими осадками в подземные воды непосредственно поступает 16% всего количества минеральных солей, содержащихся в осадках. Кроме того, в подземные воды рано или поздно поступает также та часть солей, которая содержится в испаряющихся осадках (Зверев, 1962). Таким образом, в Южной Эстонии из всего количества минеральных солей, приносимых с атмосферными осадками на поверхность суши, в грунтовые воды поступают в среднем 70%, а на пополнение запасов грунтовых вод идет лишь 16% от количества атмосферных осадков. Вследствие испарения концентрация солей в воде увеличивается и минерализация инфильтрировавшихся осадков превышает минерализацию выпадающих осадков примерно в 3—5 раз. Имея в виду, что средняя минерализация атмосферных осадков в Южной Эстонии 23 мг/л (Karise, 1965), то даже без учета процесса выщелачивания пород могут формироваться подземные воды с минерализацией до 100 мг/л, как, например, воды верховых болот и песков (см. табл. 1). Естественно, что эти воды по гидрохимическому типу близки к атмосферным осадкам, так как при инфильтрации пропорции между минеральными компонентами в воде мало изменяются.

Таблица 2

Средний химический состав атмосферных осадков и грунтовых вод

Типы воды	Среднее содержание компонентов, мг/л							Средняя общая минерализация, мг/л
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ [']	SO ₄ ["]	Cl [']	
Атмосферные осадки	3,7	0,8	1,7	0,9	11,2	4,6	3,0	23,0
Грунтовые воды	66,0	16,7	6,0	2,5	280,0	14,0	10,0	265,0

К интересным выводам приводит сравнение приносимых с атмосферными осадками и сносимых подземными водами количеств отдельных минеральных соединений. За основу расчетов приняты среднее многолетнее количество осадков, средний химический состав атмосферных осадков, средний многолетний модуль подземного стока и средний химический состав подземных (грунтовых) вод. Количество осадков за год, как было отмечено выше, в Южной Эстонии равно в среднем 600 мм; средний состав атмосферных осадков приведен в табл. 2 (Karise, 1965). Средний многолетний модуль подземного стока вод четвертичных отложений вычислен автором по данным А. Павловой и др.⁸ и составляет в Южной Эстонии 3 л/сек/км². Средний химический состав вод четвертичных отложений Южной Эстонии (см. табл. 2) вычислен автором согласно рекомендациям Ф. Макаренко (1950) как средний из анализов речных вод в меженный период. По этим исходным данным вычислены количества солей, приносимые осадками и сносимые подземными водами в год на площадь 1 км² поверхности земли (табл. 3). При составлении табл. 3 принято, что количества солей, извлекаемые растениями и возвращающиеся обратно в почву после их отмирания (так наз. малый биологический круговорот), примерно равны (Зверев, 1962) и, следовательно, не влияют на общий результат.

⁸ См. прим. 7.

Таблица 3

Количество приносимых и выносимых компонентов

	Компоненты							Общее количество минеральных веществ
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	
Количество компонентов, поступающее с атмосферными осадками в подземные воды с 1 км ² поверхности суши, кг в год	1590	335	720	380	4750	1930	1260	9750
Количество компонентов, сносимое подземными водами с 1 км ² поверхности суши, кг в год	6250	1580	570	240	26500	1330	950	25250

Из табл. 3 следует, что натрий, калий, сульфаты и хлор в водах четвертичных отложений Южной Эстонии имеют атмосферное происхождение. Приносимые с осадками количества этих компонентов превышают выносимые подземными водами количества их по следующим причинам: 1) часть сульфатов адсорбируется почвой и глинами или восстанавливается при окислении органики в сульфиды и остаются в почве и 2) при взаимодействии воды с коллоидами почв часть натрия переходит в поглощенный комплекс вместо кальция и магния (Гедройц, 1955; Зверев, 1962). Кроме того, определенное несоответствие приносимых и выносимых количеств Na⁺ + K⁺, Cl⁻ и SO₄⁻ может быть обусловлено и некоторой схематичностью расчетов, особенно при распределении атмосферных осадков.

Из общего количества карбонатов (т. е. соединения Ca, Mg и HCO₃) в наиболее распространенной группе подземных вод (с минерализацией 200—350 мг/л) только около 20% имеет атмосферное происхождение. Большая же часть карбонатов образуется вследствие выщелачивания углекислого кальция из водовмещающих пород и при взаимодействии инфильтрующих осадков с коллоидами почв.

В зависимости от минерализации подземных вод удельный вес компонентов, имеющих атмосферное происхождение, в общей сумме минеральных соединений различное: так, например, в водах с минерализацией ниже 100 мг/л, формирующихся в чистых кварцевых песках вблизи верховых болот (приток более минерализованных грунтовых вод отсутствует), примерно 80—100% из присутствующих минеральных соединений имеет атмосферное происхождение. В водах с минерализацией 100—200 мг/л, распространенных в зандровых, камовых и других кварцевых песках, 50—80% минеральных соединений принесены из атмосферы. Воды с минерализацией 200—350 мг/л содержат лишь 30—50% (в среднем 39%) компонентов атмосферного происхождения.

Общее количество минеральных солей, сносимое подземными водами, превышает приносимое с атмосферными осадками количество минеральных солей в Южной Эстонии в среднем в 2,6 раза. Следовательно, здесь действительно имеет место выщелачивание пород, которое в наших условиях правильно было бы назвать выщелачиванием карбонатов.

Состав вод коренных пород. Характерной чертой вод девонских песчано-глинистых отложений в Южной Эстонии является повышенное (5—10 мг/л) содержание в них двухвалентного железа, в то время как в водах четвертичных отложений, за исключением межморенных, содер-

жание железа вообще низкое (0,3—0,5 мг/л). По содержанию остальных компонентов воды четвертичных отложений и девонских пород обычно одинаковы. Но воды в четвертичных отложениях, заполняющие древние погребенные долины, зачастую содержат много железа, например, в Петрузе, в Эльва и др. Это объясняется тем, что погребенные долины во многих местах дренируют девонские водоносные горизонты (Верте, 1962). Здесь имеет место смешивание вод четвертичных и девонских отложений. Воду, содержащую повышенное количество железа, дают иногда и скважины на возвышенностях, питающиеся из нижних горизонтов четвертичных отложений, как, например, в Кастолатси, вблизи Пука и др. Видимо, и в таких случаях происходит смешивание вод девонских пород с водами четвертичных отложений.

Интересным примером влияния вод коренных пород на воды четвертичных отложений является состав воды древней погребенной долины Раади-Яама в г. Тарту. Эта вода по своему составу более похожа на воду наровского горизонта (Orviku, 1946), характерной чертой которой является преобладание магния над кальцием, чем на воду четвертичных отложений. Это объясняется тем, что погребенная долина усиленно дренирует наровский горизонт.

Как показывают имеющиеся данные, химический состав вод девонских отложений оказывает влияние на состав вод четвертичных отложений лишь в некоторых погребенных древних долинах и в случае большой мощности четвертичных отложений — в глубоких горизонтах последних.

Хозяйственная деятельность человека. Как известно, в результате хозяйственной деятельности человека могут изменяться условия питания и стока подземных вод, уровни, температурный режим, химический состав и т. п. Мы ограничиваемся здесь только вопросом загрязнения подземных вод в Южной Эстонии, обусловленным деятельностью человека.

Уже более 100 лет тому назад стало известно, что вода в колодцах г. Тарту загрязнена (Schmidt, 1864). В 30-х годах текущего столетия проводились исследования санитарного состояния подземных вод Эстонии. При этом выяснилось, что вода почти во всех открытых неглубоких колодцах загрязнена, причем иногда в населенных пунктах загрязнен весь горизонт грунтовых вод (Rammul, 1930—1935; Rammul ja Kask, 1938).

В настоящее время грунтовые воды загрязняются также ввиду увеличения использования минеральных удобрений и средств химической борьбы с сорняками. В результате этого в подземных водах появляются повышенные количества Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- и др. компонентов (Игнатовичус, 1960; Шилова, 1964 и др.).

Химический состав подземных вод может изменяться и при интенсивной откачке подземной воды в результате проникновения в эксплуатируемый горизонт вод перекрывающего или подстилающего водоносного горизонта (Котлов, 1961; Гаврюхина, 1962). Примером такого рода изменения состава подземной воды в Южной Эстонии является ухудшение качества воды подземного потока одной погребенной долины в г. Тарту, где из-за интенсивного водоотбора увеличился приток загрязненных вод из девонских песчаников (Karise, 1966).

При загрязнении происходят большие изменения состава подземных вод, как, например, повышение минерализации и жесткости, изменение гидрохимического типа воды и т. п. Как уже указывалось выше, загрязненные воды в четвертичных отложениях могут иметь в Южной Эсто-

нии общую минерализацию 350—3500 мг/л, но чаще всего их минерализация колеблется в пределах 400—700 мг/л. Однако надо отметить, что иногда можно встретить загрязненные воды и среди вод с минерализацией ниже 350 мг/л. Это воды, залегающие в кварцевых песках и имеющие начальную природную минерализацию в пределах 100—200 или даже 50—100 мг/л. Повышение минерализации происходит в таких водах вследствие заметного увеличения (свыше 20 мг/л) в воде количеств Na^+ , K^+ , Cl^- и SO_4^{2-} , обусловленным загрязнением, так как при загрязнении, как отмечалось выше, в первую очередь повышается содержание этих компонентов, а содержание Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^- остается неизменным или изменяется мало. Объединять такие воды, как это иногда делается, в одну группу с водами, имеющими естественную минерализацию, например 200—350 мг/л, нельзя. По содержанию Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^- можно найти соответствующую естественную степень минерализации этих вод (см. табл. 1).

При длительном и сильном воздействии факторов загрязнения изменяется и количество Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^- . В таких случаях определить начальную природную минерализацию воды трудно или даже невозможно.

Выводы

1. Незагрязненные воды четвертичных отложений в Южной Эстонии имеют общую минерализацию не более 350 мг/л.

2. На образование состава грунтовых вод кроме факторов, предопределяющих общую направленность процесса формирования грунтовых вод (климат, геологическое строение, характер почвенного покрова и растительность), непосредственно влияют литолого-минералогический состав водовмещающих пород, химический состав атмосферных осадков и местами еще состав вод коренных пород и хозяйственная деятельность человека.

3. Na^+ , K^+ , Cl^- и SO_4^{2-} в незагрязненных водах четвертичных отложений Южной Эстонии имеют атмосферное происхождение, а из карбонатов (Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^-), преобладающих в водах с минерализацией 200—350 мг/л, атмосферное происхождение имеют лишь около 20%. Остальная, т. е. большая часть карбонатов в подземных водах четвертичных отложений выщелачивается из водовмещающих пород.

4. Степень общей минерализации незагрязненных вод четвертичных отложений зависит от содержания в них карбонатов, а последнее, в свою очередь, зависит от содержания карбонатов в водовмещающих породах.

5. При загрязнении подземных вод повышение минерализации происходит в первую очередь за счет увеличения в воде содержания Na^+ , K^+ , Cl^- и SO_4^{2-} .

6. Воды четвертичных отложений Южной Эстонии с общей минерализацией ниже 200 мг/л всегда содержат агрессивную угольную кислоту. Воды с минерализацией свыше 300 мг/л практически не агрессивны. Воды с минерализацией 200—300 мг/л могут быть агрессивными лишь в отдельных случаях.

ЛИТЕРАТУРА

- Агроклиматический справочник по Эстонской ССР, 1960, Л.
- Бурксер Е. С. и Федорова Н. Е., 1955, Роль химического состава атмосферных осадков в формировании природных вод, Гидрохимические материалы, т. XXIV.
- Верте А. И., 1958, Особенности формирования подземных вод Эстонской ССР, Тр. Ин-та геол. АН ЭССР, II.
- Верте А. И., 1960, Подземные воды, Геология СССР, т. XXVIII, Эст. ССР, ч. II, гл. IV, М.
- Верте А. Я., 1962, Древние долины погребенных рек Эстонии и роль их в водообмене и водоснабжении, Научн. конф. по проблемам внутренних вод Карелии и Прибалтики и их хозяйств. использования 21—25 мая 1962 г., Тезисы докладов, Петрозаводск.
- Верте А., 1965, Основные черты гидрогеологического строения и формирования подземных вод в Эстонском артезианском бассейне, Изв. АН ЭССР. Сер. биол., т. 14, № 4.
- Гаврюхина А. А., 1962, О влиянии хозяйственной деятельности человека на процессы формирования подземных вод, Сб. статей по вопросам гидрогеол. и инж. геол., М.
- Гармонов И. В., 1948, Зональность грунтовых вод Европейской части СССР, Тр. Лабор. гидрогеол. проблем, т. III.
- Гедройц К. К., 1955, Избранные сочинения, т. I. Почвенные коллоиды и поглотельная способность почв, М.
- Духанин В. И., 1958, Некоторые общие закономерности зональности и формирования грунтовых вод на Русской равнине, Тр. Лабор. гидрогеол. проблем, т. XVI.
- Зверев В. П., 1962, К вопросу о роли химического состава атмосферных осадков в формировании грунтовых вод бассейна реки Медвенки, Тр. Лабор. гидрогеол. проблем, т. XLV.
- Зверев В. П., 1963, Химический состав атмосферных осадков Черноморского побережья Кавказа как один из факторов формирования состава грунтовых вод, В кн.: Геохимия подземных вод некоторых районов Европейской части СССР, М.
- Игнатавичюс А., 1960, Основные черты формирования химического состава грунтовых вод Литвы, *Geografinių metraštis*, № 3.
- Игнатавичюс А. К., 1962, Подземные воды четвертичных отложений Литовской ССР, Автореф. дисс., Вильнюс.
- Каменский Г. Н., 1949, Зональность грунтовых вод и почвенно-географические зоны, Тр. Лабор. гидрогеол. проблем, т. VI.
- Кессел Х. Я. и Раукас А. В., 1966, Отложения Литоринового моря и Анцилового озера в Эстонии, Таллин (в печати).
- Котлов Ф. В., 1961, Изменение подземных вод территории Москвы под влиянием деятельности человека, Тр. Лабор. гидрогеол. проблем, т. XXXVI.
- Макаренко Ф. А., 1950, О гидрогеологическом районировании грунтовых вод по химическому составу малых рек, Докл. АН СССР. Новая серия, т. LXXIV.
- Максимович Г. А., 1953, О роли атмосферных осадков в переносе растворенных веществ, Докл. АН СССР, т. XCII, № 2.
- Олли В. А., 1959, Инженерно-геологические свойства четвертичных морских отложений Эстонской ССР, Изв. АН ЭССР. Сер. физ.-матем. и техн. наук, т. VIII, № 4.
- Орвику К. К., 1956, Стратиграфическая схема антропогенных (четвертичных) отложений территории Эстонской ССР, Тр. Ин-та геол. АН ЭССР, т. I.
- Орвику К. К., 1958, Литологическое исследование морены последнего оледенения Эстонии количественными методами, Тр. Ин-та геол. АН ЭССР, т. III.
- Орвику К. К., 1960, Четвертичная система (антропогенные отложения), Геология СССР, т. XXVIII, Эст. ССР, ч. I, гл. IV.
- Орвику К. К. и Орвику К. К. мл., 1960, О распространении и литологии современных пляжевых песков Эстонии, Вопросы накопления и распределения тяжелых минералов в прибрежно-морских песках, Рига.
- Раукас А. В., 1961а, Литология и минералогия основных морен Эстонской ССР, Автореф. дисс., Таллин.
- Раукас А. В., 1961б, Минералогия морен Эстонии, Изв. АН ЭССР. Сер. физ.-матем. и техн. наук, т. 10, № 3.

- Раукас А. В., 1962а, Закономерности распределения галек в моренах Эстонии, Изв. АН ЭССР. Сер. физ.-матем. и техн. наук, т. 11, № 2.
- Раукас А. В., 1962б, Морены как почвообразующие породы в Эстонской ССР. Сб. научн. тр. Эст. сельхоз. акад., т. 24.
- Раукас А. В. и Рейнтам Л. Ю., 1965а, Гранулометрический состав и некоторые физикохимические свойства основной морены последнего оледенения Эстонской ССР, Стратиграфия и литология четвертичных отложений Эстонии, Таллин.
- Рейнтам Л. Ю. и Раукас А. В., 1965б, Об изменениях механического, минералогического и химического состава дерново-подзолистых почв на карбонатной краснобурой морене, Почвоведение, № 3.
- Силин-Бекчурин А. И., 1958, Гидродинамические и гидрохимические закономерности на территории Прибалтики, Тр. Лабор. гидрогеол. проблем, т. XX.
- Шилова Е. И., 1958, О качественном составе лизиметрических вод некоторых разновидностей подзолистых почв. Вестн. Ленингр. ун-та. Сер. биол., № 21, вып. 4.
- Шилова Е. И., 1964, Почвенные растворы и лизиметрические воды подзолистых почв, Автореф. дисс., Ленинград.
- Karise V., 1961, Antropogeeni setete põhjaveed Lõuna-Eestis, ENSV TA Geol. Inst. Üürimused, VII.
- Karise V., 1965, Mida sisaldavad vihm ja lumi, Eesti Loodus, nr. 4.
- Karise V., 1966, Põhjavee koostise muutumisest Tartus, Eesti Loodus, nr. 3.
- Lillema A., 1958, Eesti NSV mullastik, Tallinn.
- Orviku K., 1946, Tartu linna hüdrogeolcgia, Eesti NSV TRÜ Toimetised, Geoloogia ja Geograafia, 1.
- Rammul A., 1930, Pärnumaa tervishoiuline kirjeldus, Tartu.
- Rammul A., 1932, Võrumaa tervishoiuline kirjeldus, Tartu.
- Rammul A., 1933a, Tartu joogivee-oludest. «Tartu», I.
- Rammul A., 1933b, Valgamaa tervishoiuline kirjeldus, Tartu.
- Rammul A., 1933b, Viljandimaa tervishoiuline kirjeldus, Tartu.
- Rammul A., 1935, Petserimaa tervishoiuline kirjeldus, Tartu.
- Rammul A. ja Kask M., 1938, Tartumaa tervishoiuline kirjeldus, Tartu.
- Schmidt C., 1864, Die Wasserversorgung Dorpats, eine hydrologische Untersuchung, Archiv f. d. Naturkunde Liv-, Ehst- u. Kurlands, Ser. I, Bd. 3.

Институт геологии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
17/II 1966

V. KARISE

LÕUNA-EESTI KVATERNAARI AJASTU SETETE VETE KOOSTISE KUJUNEMISE PÕHIJONED

Artiklis käsitletakse Lõuna-Eesti kvaternaari ajastu setete põhjavete kujunemise küsimusi. Erilist rõhku on pandud setete litoloogilis-mineraloogilise iseloomu ja sademete koostise mõju selgitamisele pinnasevete koostise kujunemisel. Vaadeldakse ka aluspõhjavete ja inimese tegevuse osa kvaternaari ajastu vete koostise mõjustamisel.

V. KARISE

ÜBER DIE BILDUNG DER ZUSAMMENSETZUNG DER GRUNDWASSER IN DEN QUARTÄREN ABLAGERUNGEN SÜDESTLANDS

Die Mineralisation der Grundwässer in den Ablagerungen des Quartärs ist in Südestland 50—350 mg/l, meist aber 200—350 mg/l. Ist die Mineralisation höher als 350 mg/l, so ist das Grundwasser hier verunreinigt. Ihrem hydrochemischen Typ nach sind die Grundwässer von einer Mineralisation 100—350 mg/l meist Hydrokarbonat-Magnesium-Kalzium-Wässer. Ist die Mineralisation unter 100 mg/l (in sandigen Böden in der Nähe von Hochmooren), so sind die Grundwässer entweder Chlorid-Hydrokarbonat- oder Sulfat-Chlorid-

Hydrokarbonat-Natrium-Magnesium-Kalzium-Wässer. Die chemische Zusammensetzung der verunreinigten Wässer ist mannigfaltig.

Die Zusammensetzung der Grundwässer in den quartären Ablagerungen Südestlands ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Ausser den üblichen Faktoren (Klima, geologische Struktur, Bodenbeschaffenheit und Pflanzendecke) sind für die chemische Zusammensetzung der Grundwässer in den Ablagerungen des Quartärs noch die lithologisch-mineralogische Zusammensetzung der Ablagerungen und die chemische Zusammensetzung der Niederschläge von Wichtigkeit, ausserdem stellenweise die chemische Zusammensetzung der Untergrundwässer und die Tätigkeit des Menschen.

Von den Komponenten der Grundwässer in den quartären Ablagerungen sind Na^+ , K^+ , Cl^- und SO_4^{2-} fast ausschliesslich atmosphärischer Herkunft. Ihre Menge in den Grundwässern ist 2–20 mg/l (durchschnittlich 9–11 mg/l). Die in den Grundwässern vorkommenden Ca^{2+} , Mg^{2+} und HCO_3^- stammen fast ausnahmslos vom Grundwasserleiter. Je nach dem Karbonatgehalt des letzteren bilden sich in den verschiedenen Ablagerungen auch Grundwässer von verschiedener Mineralisation: in karbonatfreien Quarzsanden Wässer von einer Mineralisation unter 200 mg/l, in Kiesablagerungen mit viel Karbonaten solche von mehr als 200 mg/l. Vom Karbonatgehalt in den quartären Ablagerungen hängt auch die Aggressivität der dort vorkommenden Wässer ab: Wässer von einer Mineralisation unter 200 mg/l enthalten stets aggressive Kohlensäure, dagegen sind Wässer, deren Mineralisation über 300 mg/l liegt, praktisch nie aggressiv. In der Zwischenstufe (200–300 mg/l) kommen aggressive Wässer nur ausnahmsweise vor.

Je nach dem Mineralisationsgrad der Grundwässer ist der Anteil der Komponenten atmosphärischer Herkunft verschieden; so ist bei einer Mineralisation des Wassers unter 100 mg/l der Anteil dieser Komponenten 80–100%; bei einer Mineralisation von 100–200 mg/l ist er 50–80%, bei einer Mineralisation von 200–350 mg/l aber bloss 30–50% (durchschnittlich 39%).

Bei der Verunreinigung der Grundwässer wächst ihre Mineralisation vor allem durch die Vermehrung der Na^+ , K^+ , Cl^- und SO_4^{2-} , deren Anteil sich im Vergleich zur Menge derselben Komponenten im reinen Wasser 20–40mal zunehmen kann. Die Menge der Ca^{2+} , Mg^{2+} und HCO_3^- ändert sich bei mässiger Verunreinigung wenig, bei starker Verunreinigung kann sie 3–10mal grösser werden.