Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1985, т. 103

УДК 550.84

ЛАНДШАФТНО-ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЗОНЫ ГИПЕРГЕНЕЗА (НА ПРИМЕРЕ ПРИОНЕЖЬЯ)

С.М.СУДАРИКОВ

В рельефе современной поверхности Прионежья прослеживаются три террасы с абсолютными отметками гипсометрических уровней 30-60, 60-100 и 100 м и более. Максимальные высоты не превышают 300 м. Причиной террасированности рельефа является воздействие комплекса историко-геологических факторов, важнейшим из которых является последовательная деградация Онежского озера в послеледниковое время.

В пределах верхней террасы грунтовые воды циркулируют в трещиноватых и закарстованных известняках нижнего карбона, в основании которых залегают глинистые отложения тульского горизонта. Средняя терраса расположена на площади, занятой менее водопроницаемыми породами – песчано-глинистыми отложениями верхнего девона. В геологическом строении нижней террасы принимают участие песчано-глинистые отложения девона, верхнего протерозоя и кристаллические породы архея и нижнего протерозоя, часто выходящие под четвертичные отложения (рис.1).

Результаты геологической съемки позволили наметить в пределах выделенных уступов рельефа ландшафтные зоны, отличающиеся по литолого-геохимическим особенностям горных пород и характеру растительности. Поскольку ландшафт представляет собой единство различных природных тел – растительности, почвы, кор выветривания, водоносного горизонта [1], ожидалось, что геохимия подземных вод зоны свободного водообмена также должна реагировать на изменение ландшафтных условий [3, 4].

Были вычислены фоновые значения общей минерализации, окислительно-восстановительного потенциала, pH, температуры подземных вод, коэффициентов rNa/rCl, rSO_4/rCa и rCa/rMg, содержаний Mn, Zn, Cu и Pb в подземных водах и других статистических параметров для каждой из террас. Результаты обработки гидрогеохимических данных на ЭВМ (более 1000 анализов) приведены в таблице.

Минерализация подземных вод. Выявлено закономерное уменьшение минерализации грунтовых вод с повышением гипсометрического уровня. Основной причиной этого явления служат различия в гидродинамических условиях, обусловленных в свою очередь геолого-структурными факторами (рис.2).

В пределах террасы III расположены наиболее водообильные водоносные горизонты. Рельеф интенсивно расчленен, особенно в краевых частях террасы, что приводит к повышенной интенсивности водообмена. Породы, судя по данным водных вытяжек, хорошо отмыты от легкорастворимых солей.

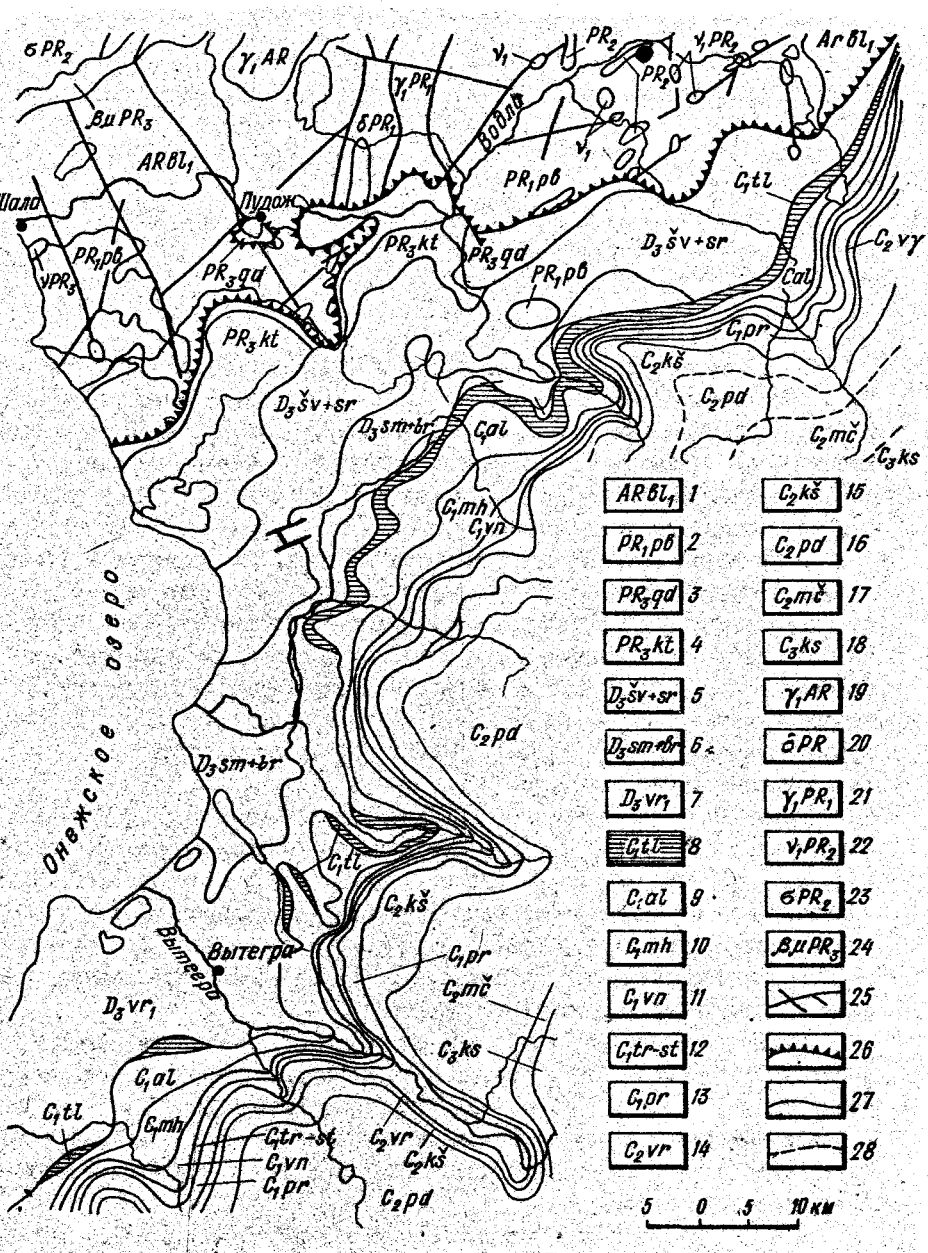


Рис.1. Геологическая карта Прионежья

1 – гнейсы, амфиболиты беломорской серии; 2 – гнейсы гимольско-парандовской серии; 3 – песчаники гдовского горизонта; 4 – глины котлинского горизонта; 5 – пески и глины швентойско-сергиевского горизонта; 6 – пески семилукско-бурегского горизонта; 7 – глины Воронежского горизонта; 8 – огнеупорные глины, бокситы тульского горизонта; 9 – пески алексинского горизонта; 10-12 – пески и глины с прослоями известняков – михайловского (10), веневского (11) и тарусского и стешевского (12) горизонтов; 13-18 – известняки и доломиты протвинского (13), верейского (14), каширского (15), подольского (16), мячковского (17) горизонтов и касимовского надгоризонта (18); 19 – раннеархейские интрузии кислого состава; 20 и 21 – ранние раннепротерозойские интрузии соответственно основного и кислого состава; 22 – ранние среднепротерозойские интрузии; 23 и 24 – бураковская расслоенная интрузия соответственно основного и ультраосновного состава; 25 – разломы; 26 – граница распространения осадочных отложений Русской плиты; 27 и 28 – границы горизонтов, достоверные и по предположению

Зависимость гидрогеохимических показателей от абсолютной высоты террасы (фоновые значения)

Геохимический показатель	Терраса		
	I	II	III
	Абсолютная высота, м		
	30–60	60–100	100 и более
Минерализация, г/л	0,37/2,56	0,28/2,42	0,11/1,31
Коэффициенты			
rNa/rCl	0,86/1,64	1,16/1,38	1,34/0,38
rCa/rMg	1,6/0,45	2,20/0,44	3,60/0,23
rSO_4/rCl	0,66/0,81	0,47/0,51	0,29/0,45
Содержание, мкг/л			
Cu	2,66/3,18	1,95/0,62	1,20/0,076
Pb	7,40/1,87	5,20/0,91	3,10/0,097
Mn	18,0/2,04	12,4/1,64	10,0/1,93
Zn	25,4/1,184	19,0/1,10	12,8/0,89
pH	6,3/0,81	6,5/0,60	6,9/0,35
Eh, мВ	128/0,36	293/0,39	281/0,80
T,°C	13/0,21	8/0,20	10/0,20

Примечание. В числителе – значение показателя, в знаменателе – коэффициент вариации.

Терраса II характеризуется менее выраженным гидрографическим врезом. Движение подземных вод замедлено. Изоляция от восходящих струй более минерализованных подземных вод, благодаря значительной (суммарной) мощности глинистых отложений, достаточно надежная. Химический состав подземных вод формируется под влиянием инфильтрогенной составляющей, хотя в глинистых отложениях водные вытяжки фиксируют заметные количества таких легкорастворимых солей, как хлориды натрия и магния.

Терраса I занимает наиболее пониженные участки рельефа: Прионежскую низину и долину р.Водлы. Динамика подземных вод из-за слабой расчлененности рельефа затруднена. Поверхность террасы сильно заболочена. Наряду с нисходящим и горизонтальным движением подземных вод отмечено и восходящее движение глубинных минерализованных вод. Увеличение минерализации подземных вод в источниках до 0,6–0,8 г/л отмечается вдоль установленных по геолого-геофизическим данным тектонических нарушений субмеридионального направления. На участках близкого залегания к поверхности кристаллических пород фундамента и в долине р.Водлы в ряде источников фиксируются хлоридные аномалии и повышенный градиент минерализации, установленный в результате поинтервального опробования двух скважин.

Коэффициент вариации минерализации имеет наибольшее значение для террасы I и наименьшее для террасы III. Таким образом, наибольшие колебания

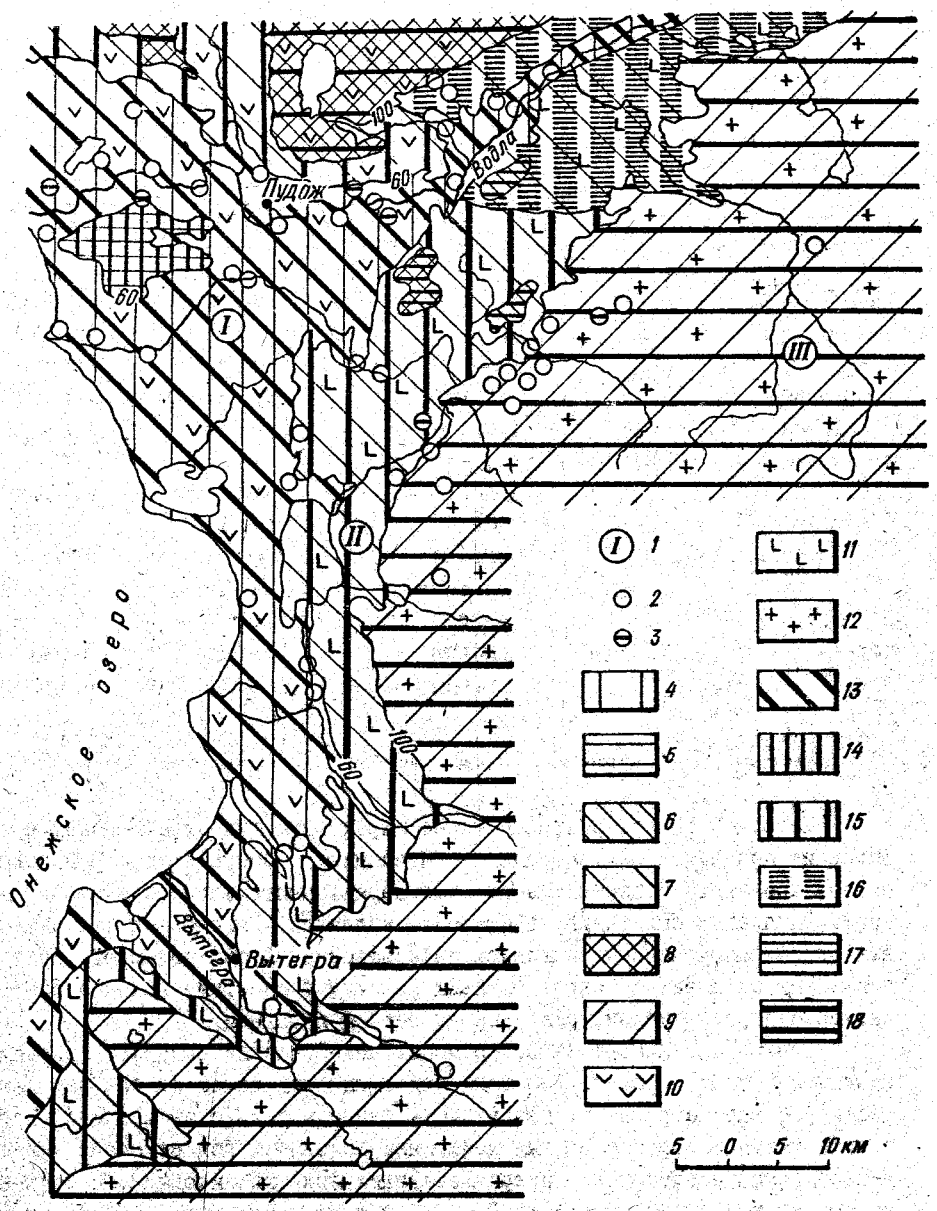


Рис. 2. Ландшафтно-гидрогеохимическая карта Прионежья

1 – номер террасы; 2 и 3 – источники пресных вод с преобладанием соответственно хлор- и сульфат-иона; 4–9 – воды с коэффициентами $r\,Ca\,/r\,Mg$, равными соответственно 0,95–1,0; 0,99; 1,05; 1,12; 1,6; 1,91; 10–12 – воды с коэффициентами $r\,SO_4/r\,Cl$, равными 0,66; 0,47 и 0,29; 13 – воды с минерализацией M = 366 мг/л и $r\,Na/r\,Cl$ = = 0,8; 14–16 – воды с M = 281 мг/л и $r\,Na/r\,Cl$, равным соответственно 0,91; 1,16 и 1,19; 17 и 18 – воды с M = 109 мг/л и $r\,Na\,/r\,Cl$, равным 1,23 и 1,34

минерализации отмечены в водах кристаллических пород фундамента гдовского и котлинского горизонтов, залегающих под четвертичными отложениями.

К о э ф ф и ц и е н т rNa/rCl. Хлор-ион обладает высокой миграционной способностью. Растворимость и константы диссоциации хлоридных солей натрия, магния и кальция очень высоки. Хлор-ион присутствует в водах любой минерализации, причем в слабоминерализованных водах он обычно находится на третьем месте, а с увеличением минерализации содержание хлоридов растет, и в соленых водах они занимают первое место. Среди катионов наиболее распространены ионы натрия. Миграционные возможности натрия несколько уступают иону хлора, так как Na^+ может вступать в обменные реакции с поглощенным комплексом пород, и, следовательно, выводиться из раствора [2]. Содержание натрий-иона растет вместе с минерализацией воды, хотя этот элемент обычно не занимает доминирующего положения, характерного для хлора в высокоминерализованных водах. Наблюдается отставание в росте содержаний натрия по сравнению с хлором при увеличении минерализации, хотя в пресных водах он распространен шире. Следует отметить, что в пределах террасы I встречено наибольшее количество источников пресных хлоридных вод (рис.2).

К о э ф ф и ц и е н т rCa/rMg. Увеличение содержания кальция в подземных водах террасы III можно объяснить широким распространением здесь карбонатных пород каменноугольного возраста. К выщелачиванию кальция приводит широко распространенная реакция

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2HCO_3^-.$$

С ней связано, в частности, развитие карстовых процессов, проявления которых хорошо известны в Прионежье. Подчиненная роль, которую играют доломиты в разрезе карбонатных пород по сравнению с известняками, объясняет относительно низкие содержания магния в водах террасы III. В то же время магний является важным компонентом многих породообразующих минералов изверженных пород: слюд, амфиболитов (кислые породы), оливина, пироксенов (основные породы). Более податливы к выветриванию оливин и пироксены, так как при выветривании слюд связь магния с кремнием сохраняется длительное время. Повышенные содержания магния (до 30-60 мг/л) зафиксированы в гидрокарбонатных трещинных водах интрузивных пород основного и ультраосновного состава, что в 10-15 раз выше средних. Иногда в хлоридных водах магний находится на первом месте среди катионов, опережая натрий. Магний - элемент, тяготеющий к ультраосновным и основным породам, где он связан с железом, титаном, никелем, ванадием, кобальтом. По миграционным же свойствам он резко отличен даже от других щелочно-земельных элементов, в частности Ca, и имеет больше общих черт с такими подвижными элементами, как натрий, хлор, калий, бром, йод [4]. Сульфаты и хлориды магния хорошо растворимы. Наличие хлоридных вод в кристаллических породах и обогащение подземных вод сульфат-ионом в результате окисления сульфидных минералов создают предпосылки для активной миграции магния в водной среде. В пределах развития основных пород возможности для поступления магния в подземные воды особенно благоприятны. Таким образом, изменение коэффициен-

та rCa/rMg контролируется в пределах террасы III повышенным содержанием иона кальция в подземных водах, а в пределах террасы I – повышенным содержанием иона магния, что обусловлено главным образом различиями в геологическом строении.

К о э ф ф и ц и е н т rSO_4/rCl. Повышенные значения коэффициента характерны для подземных вод зон окисления сульфидов. Сульфидная минерализация приурочена к кристаллическим породам щита, широко развитым под четвертичными отложениями в пределах террасы I. Террасы II и III в значительной степени изолированы от кристаллических пород, поэтому коэффициент rSO_4/rCl и коэффициент его вариации уменьшаются с высотой.

С о д е р ж а н и е м е д и, с в и н ц а, ц и н к а, м а р г а н ц а. Для всех перечисленных микрокомпонентов характерно уменьшение фоновых содержаний последовательно от террасы I к террасе III (рис.3). Это явление находится в прямой связи с изменением значений rSO_4/rCl. По-видимому, поступление этих элементов в подземные воды Прионежья в основном связано с окислением сульфидов кристаллических пород [5], ближе всего залегающих к поверхности на террасе I. Осадочные породы, особенно водоупорные толщи, служат экраном, предохраняющим подземные воды повышенных частей рельефа как от хлоридной и сульфатной минерализации, так и от поступления микрокомпонентов.

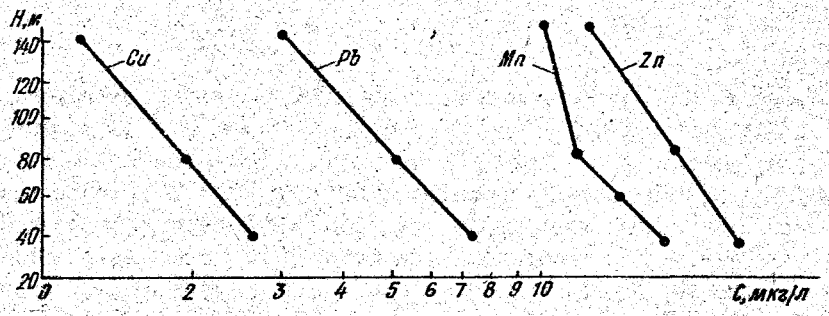


Рис.3. Изменение фоновых содержаний C меди, свинца, цинка, марганца в зависимости от абсолютной высоты H

В е л и ч и н а pH. Различия в кислотно-щелочных условиях для различных террас не слишком контрастны, хотя наблюдается некоторое увеличение щелочных свойств подземных вод с повышением гипсометрического уровня. Важнейшими из факторов, влияющих на уровень кислотности подземных вод в зоне гипергенеза, следует считать следующие:

I. Широкое развитие болот на территории Прионежья. Болотные воды характеризуются повышенной кислотностью. В выпуклых торфяных болотах Прионежья составляет pH = 4,2÷4,7, в плоских pH = 4,5÷5,5. В болотах типа зарастающих озер pH = 5,0÷6,5. Болотные воды содержат много органики,

в частности гумусового материала (гуминовые, ульминовые и фульвокислоты, гумины и т.д.), наличие которого отчасти объясняет повышенную кислотность и желтый цвет этих вод. Еще одной причиной увеличения кислотности и снижения содержания твердых растворенных веществ болотных вод считается специфические свойства сфагновых мхов [6], извлекающих из воды элементы, которые поступают с подземными или поверхностными водами. Сфагнум поглощает известь, вследствие чего воды торфяников становятся более кислыми. В наибольшей степени заболочена территория террасы I, причем торфяники, в которых подземные воды имеют наименьшие величины pH, развиты в пределах открытой части Балтийского щита.

2. Окисление сульфидов. При окислении сульфидов по широко известным реакциям образуется свободная серная кислота, что приводит к понижению pH в зонах окисления. Эти процессы наиболее характерны для кристаллических пород Балтийского щита, близко залегающих к земной поверхности в пределах террасы I.

3. Поступление глубинных вод. Воды глубинных разломов в Прионежье характеризуются повышенными значениями pH. В зоне гипергенеза глубинные воды, смешиваясь с кислыми водами верхних горизонтов, уменьшают их кислотность. Эти процессы также наиболее характерны для террасы I.

Выявленные различия в геохимии подземных вод ландшафтных зон Прионежья, особенно различия фоновых содержаний микрокомпонентов, имеют большое значение для гидрогеохимических поисков рудных месторождений. Невнимание к этим различиям, в частности при проведении поисков на территории террасы II, может привести к недооценке контрастности гидрогеохимических аномалий и, следовательно, к ошибкам в определении перспективности зон сульфидной минерализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. Изд. 2-е. М., Высшая школа, 1975.

2. Перельман А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М., Недра, 1972.

3. Самарина В.С. Формирование химического состава подземных вод (на примере Прикаспийской низменности). Л., Изд-во ЛГУ, 1983.

4. Самарина В.С. Гидрогеохимия. Л., Изд-во ЛГУ, 1977.

5. Судариков С.М. Гидрогеохимические предпосылки рудоносности Восточного Прионежья. – Изв. вузов. Геология и разведка, 1978, № 4.

6. Clymo R.S. – The Biologist, 1964, 67.