

«Нарзан-2015»

**ДИАГНОСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

УДК 556.332

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЧЕТВЕРТИЧНЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ В ИСТРИНСКОМ РАЙОНЕ**

А.Б. ЛИСЕНКОВ, Ю.Ю. АЛЕНТЬЕВ

*Российский государственный геологоразведочный университет
117997, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.23; e-mail: alentev49@mail*

Дана краткая характеристика геолого-гидрогеологических условий района исследований. Приведена оценка загрязнения подземных вод четвертичных отложений свинцом, никелем, нефтепродуктами, нитратами в результате антропогенного воздействия, полученная при помощи информационного анализа, данных водно-балансовой станции Малая Истра и расчётов, выполненных с помощью программы SurfBall. Оценено влияние различных ландшафтов на формирование загрязнения наименее защищенных водоносных горизонтов. Сделаны выводы о потенциальной возможности загрязнения нижележащих водоносных комплексов.

Ключевые слова: подземные воды; антропогенное загрязнение; информационный анализ.

**USE OF THE INFORMATION ANALYSIS FOR AN ESTIMATION
OF THE CONTAMINATION OF UNDERGROUND WATER IN QUATERNARY
DEPOSITS IN ISTRINSKY REGION**

A.B. LISENKOV, YU.YU. ALENTEV

*Russian State Geological Prospecting University
117997, Russia, Moscow, Miklouho-Maklay street, 23; e-mail: alentev49@mail.*

Brief geological and hydrogeological characteristics of the study area are given. The assessment of the groundwater contamination by lead, nickel, petroleum, nitrates as a result of anthropogenic impacts on the example of Moscow's water-ice horizon, obtained with the help of information analysis, these water-balance stations Malaya Istra and calculations performed in the program SurfBall. The role of different landscapes in the contamination of least protected aquifers is assessed. The conclusions about the potential for pollution of the underlying aquifers are done.

Keywords: underground water; anthropogenic impact; information analysis.

Целью исследования является оценка загрязнения вод четвертичных отложений Истринского района с помощью информационного анализа по данным, полученным в результате многолетних наблюдений на территории водно-балансовой станции Малая Истра.

Истринский район расположен в Московской области, западнее столицы. Районным центром является г. Истра, плотность населения в районе составляет 92 чел./км², площадь 1299 км² [1]. В рассматриваемом районе развиты отложения девона, карбона, юры, мела и четвертичные. Более древние отложения были вскрыты картировочными скважинами, расположенными за пределами исследуемого района [7]. В пределах рассматриваемой территории подземные воды приурочены к четвертичным, мезозойским, палеозойским, протерозойским, архейско-протерозойским отложениям. Наиболее уязвимыми для загрязнения являются близко залегающие к поверхности и менее защищенные воды в четвертичных отложениях.

Они представлены водоносным современным аллювиальным (Q aIV), водоупорным локально водоносным средне-верхнечетвертичным озёрно-ледниковым (Q 1,lg II-II), водоносным московским водно-ледниковым (Q f,lg IIms), относительно водоносным московским ледниковым (Q g IIms), водоносным донско-московским водно-ледниковым (Q f,lg Idns-IIms), относительно водоносным донским ледниковым (Q g Idns), водоносным сетуноско-донским водно-ледниковым (Q f,lg Ist-dns) горизонтами. [4]

Авторы рассмотрели химическое загрязнение подземных вод и прогноз его распространения с помощью информационного анализа. В качестве объекта исследования нами выбран водоносный московский водно-ледниковый горизонт как один из наиболее подверженных антропогенному воздействию.

В основу расчётов положена модель «черного ящика», которую в самом простом виде можно описать формулой:

$$Y = R(X), \quad (1)$$

где X — ансамбль параметров на «входе» в «черный ящик», Y — ансамбль функций на «выходе» системы, R — оператор преобразования (диагностическая функция) [3]. Показатели информативности рассчитывались по приведенной ниже формуле:

$$I(Y:x_i) = I(Y) - I(Y/x_i), \quad (2),$$

где $I(Y:x_i)$ — взаимная информативность Y и x_i , $I(Y)$ — полная информация, содержащаяся в показателе Y (выходной параметр, обобщенно характеризующий химическое загрязнение рассматриваемой территории), $I(Y/x_i)$ — относительная информативность указанных выше признаков [3].

В рамках информационного анализа можно выделить следующие этапы: формирование исходной

модели, формирование информационной модели, тестирование, оценка эффективности модели, решение диагностической задачи — при положительном результате. В случае неэффективности модели — её переобучение. Логическая схема информационного анализа приведена на рис. 1.

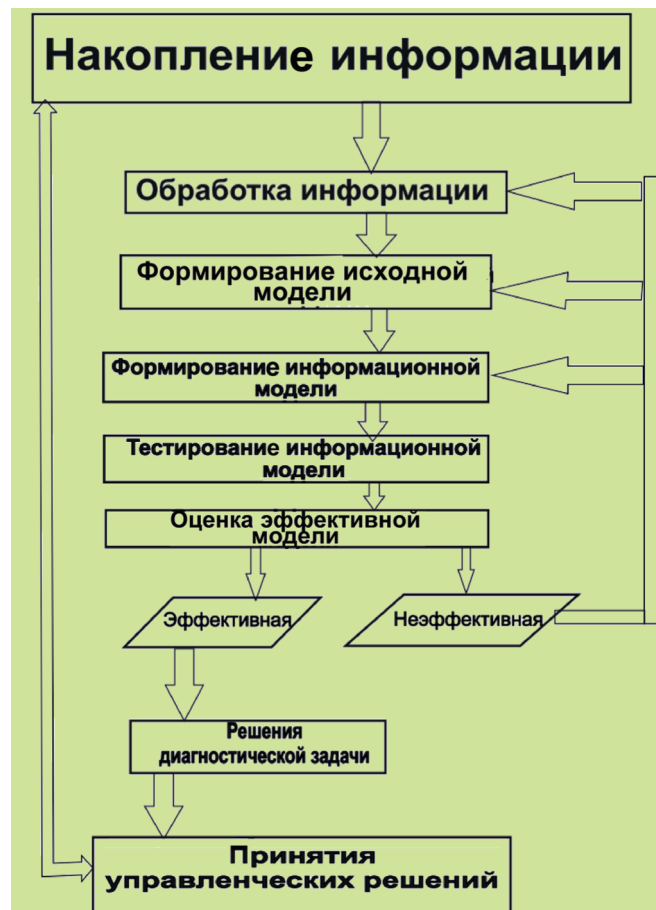


Рис. 1. Схема информационного анализа [2]

На этапе формирования исходной модели выполняется выбор логической схемы, показателей, расчётных узлов и набора карт.

В качестве исследуемых показателей взяты:

1. Защищенность (по литологическому составу и мощности первого от поверхности слоя).
2. Суммарная защищенность московского водно-ледникового водоносного горизонта (f, lgQIIms) (по суммарной мощности всех выше залегающих водоупоров и относительных водоупоров).
3. Тип ландшафта (в этот показатель включены данные по среднему поверхностному стоку, средние значения по впитыванию в почву).
4. Уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта.
5. В качестве выходного показателя и индикатора загрязнения взяты средние значения по содержанию свинца, никеля, нитратов и нефтепродуктов в единицах ПДК для московского водно-ледникового водоносного горизонта.

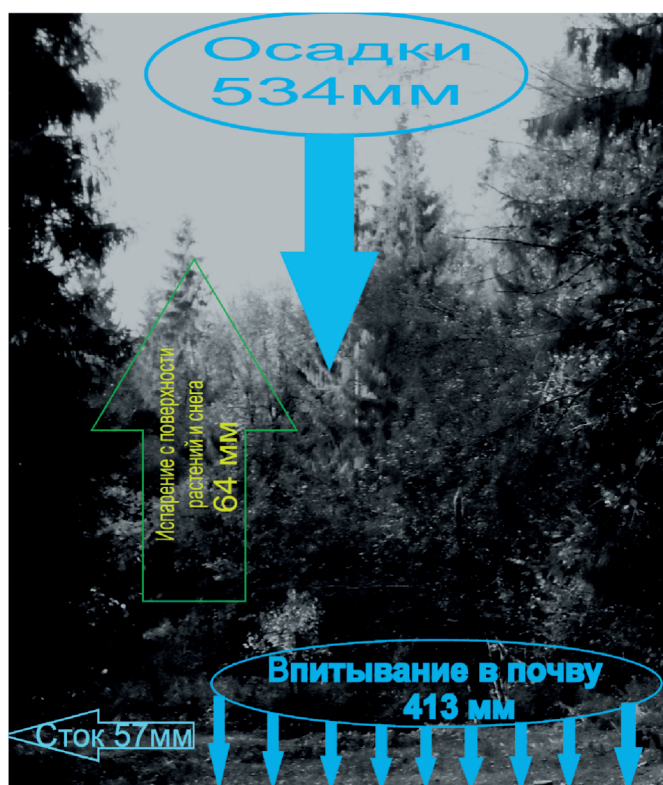


Рис. 2. Характеристика распределения элементов водного баланса в пределах лесного ландшафта (по результатам моделирования)

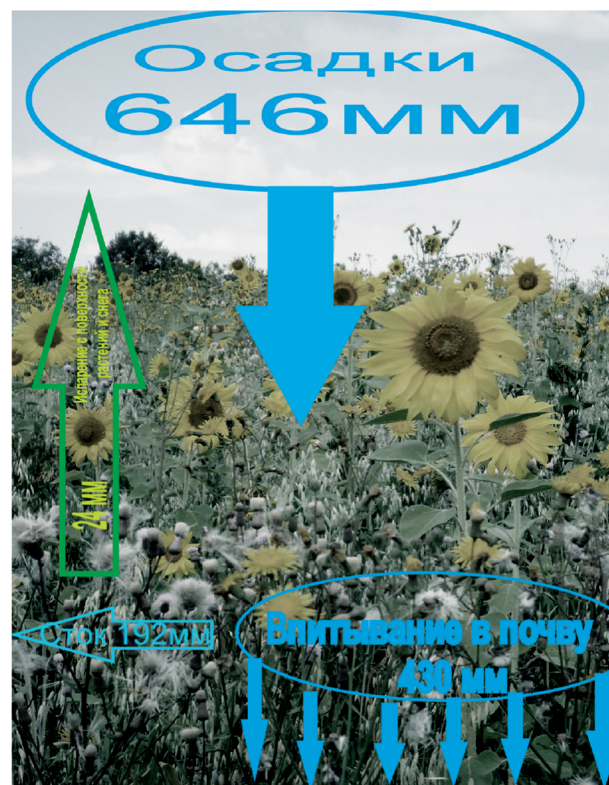


Рис. 3. Характеристика распределения элементов водного баланса в пределах полевого ландшафта (по результатам моделирования)

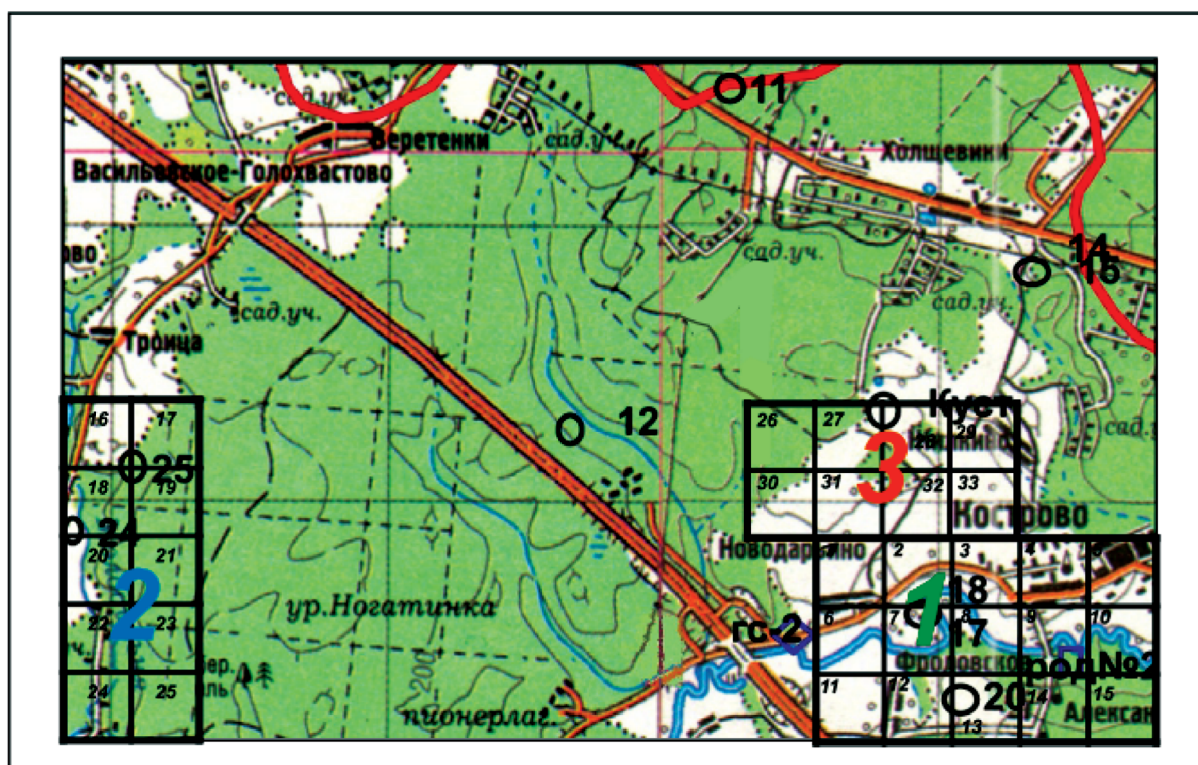


Рис. 4. Схема информационной модели для диагностирования загрязнения подземных вод изучаемых участков: 1 (1—15) — обучения, 2 (16—25) — тестирования, 3 (26—33) — диагностирования

Таблица 1

Средние значения по показателям для обучающей части территории

Номер блока	Мощность покровных суглинков, м	Суммарная защищенность московского водно-ледникового водоносного горизонта, м	Уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта, м	Тип ландшафта	Среднее содержание загрязняющих компонентов в ПДК			
					Свинец	Никель	Нефтепродукты	Нитраты
1	4,0	4,5	1,0	Полевой	0,36	0,48	0,11	0,42
2	3,5	4,5	0,5	То же	0,31	0,43	0,1	н.о.
3	3,5	4,5	0,5	//—//	0,31	0,43	0,1	н.о.
4	2,0	4,5	0,5	//—//	0,36	2,65	0,11	0,42
5	2,0	4,5	0,0	//—//	0,36	2,65	0,11	0,42
6	4,0	5,0	1,0	//—//	0,31	0,43	0,1	н.о.
7	4,0	4,5	1,0	//—//	0,31	0,43	0,1	н.о.
8	3,0	4,0	0,5	//—//	3,04	9,06	4,01	н.о.
9	2,0	4,0	0,0	//—//	н.о.	н.о.	н.о.	1,17
10	2,0	4,0	0,0	//—//	0,31	0,43	0,1	н.о.
11	4,0	4,5	1,5	//—//	0,31	0,43	0,1	н.о.
12	4,0	3,0	1,5	//—//	3,04	9,06	4,01	н.о.
13	3,0	3,0	1,0	//—//	3,04	9,06	4,01	н.о.
14	2,0	3,0	0,5	Лесной	3,04	9,06	4,01	н.о.
15	2,0	3,0	0,0	То же	0,31	0,43	0,1	н.о.

Примечание. н.о. — ниже предела обнаружения.

Районирование по типам ландшафта было выполнено на основе результатов расчета в программе SurfBal, разработанной С.П. Поздняковым [6]. Эта программа позволяет получить среднемноголетние суточные балансовые данные по трансформации осадков на поверхности и выделить поверхностный сток, испарение с поверхности снега и растительности, количество впитывающихся осад-

ков в почву, а также потенциальное испарение и транспирацию. Для расчёта в программе необходимы метеоданные, значения кривой стока, индекс развития поверхности листа и др. Результаты расчёта, выполненные в программе SurfBal, представлены на рис. 2 для лесного ландшафта и рис. 3 для полевого ландшафта. Среднегодовое количество осадков, как видно из рисунков, выпадающих на

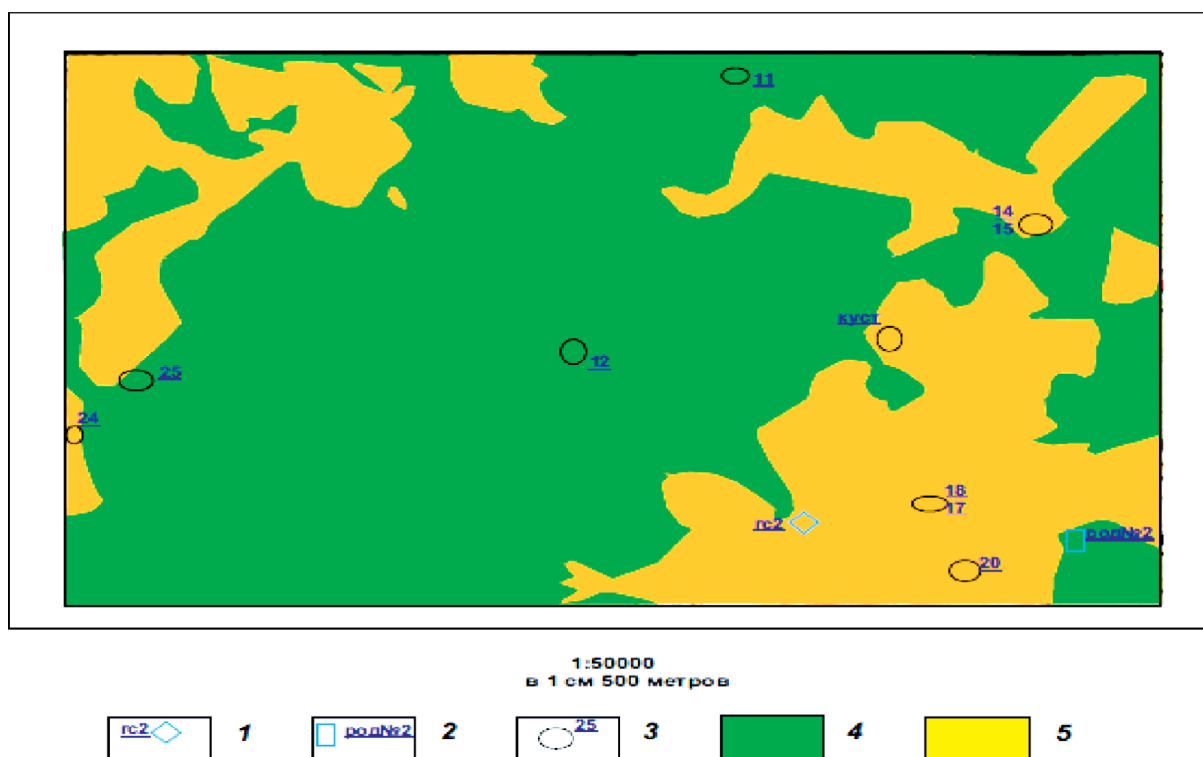


Рис. 5. Ландшафтная карта распределения лесных и полевых территорий на изучаемых участках: 1 — гидрологические створы; 2 — родник; 3 — скважина, номер; 4 — лесной ландшафт; 5 — полевой ландшафт, населённые пункты

лесном ландшафте на 112 мм меньше, чем на поле-
вом ландшафте, и равно 534 мм для лесного ландшафта и 646 мм для полевого ландшафта. Данная разница вызвана перехватыванием части осадков кронами деревьев [2]. Разница в величинах поверхностного стока, для лесной территории (11 % от суммы выпадающих осадков) и 30 % для полевого ландшафта, обусловлена большими значениями впитывания и испарения, характерными для лесов.

На этапе формирования информационной модели на исследуемой территории (рис. 4) выделяются участки для обучения, тестирования и диагностирования. Далее каждый участок разбивается на блоки. В каждом блоке определяется средние значения показателей.

Средние значения по мощности покровных суглинков, суммарной защищенности, уровню московского водно-ледникового водоносного горизонта и загрязнённости московского водно-ледникового водоносного горизонта на обучающий части территории представлены в табл. 1.

Данные по распространению различных типов ландшафтов на исследуемой территории приведены на рис. 5.

На этапе формирования информационной модели также проводится ранжирование выбранных показателей. При этом ранг «0» соответствует стабильной ситуации, а ранг «1» — неблагоприятной. В выходном показателе (содержание свинца, никеля, нефтепродуктов, нитратов в единицах ПДК) первый ранг присваивается в случае превышения ПДК хотя бы по одному из перечисленных параметров. Предельно допустимые концентрации по названным элементам, согласно ГН 2.1.5.1315-03 (Гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и

Таблица 2

Нормативы ПДК	
Показатель	Нормативы ПДК, мг/л
Свинец	0,01
Никель	0,02
Нефтепродукты	0,1
Нитраты	45

Таблица 3

Границы рангов			
Номер п/п	Показатель	Значения показателей по рангам	
		0	1
1	Мощность покровных суглинков	> 3,5	3,5
2	Суммарная защищенность	> 4,0	4,0
3	Тип ландшафта	Лесной	Полевой
4	Уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта	1,0	<1,0
5	Загрязнение	< 1 ПДК	1 ПДК

культурно-бытового водопользования») и Сан-ПиН 2.1.4.1074-01 («Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения»), отражены в табл. 2. Границы рангов по всем рассматриваемым показателям сведены в табл. 3. Данные в ранжированном виде для обучающей части представлены в табл. 4 [5].

Далее по данным из табл. 4 составляем матрицы взаимных переходов и по формуле (2) рассчитываем взаимную информативность для простых, а затем и для сложных признаков. Под сложным признаком подразумевается набор объединённых символом простых показателей. Результаты расчёта взаимной информативности представлены в табл. 5.

Таблица 4

Данные в ранжированном виде для обучающей части модели					
Номер блока	Мощность покровных суглинков	Суммарная защищенность московского водно-ледникового водоносного горизонта	Уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта	Тип ландшафта	Загрязнение
1	0	0	0	1	0
2	1	0	1	1	0
3	1	0	1	1	0
4	1	0	1	1	1
5	1	0	1	1	1
6	0	0	0	1	0
7	0	0	0	1	0
8	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	0
11	0	0	0	1	0
12	0	1	0	1	1
13	1	1	0	1	1
14	1	1	1	0	1
15	1	1	1	0	0

Таблица 5

Значения взаимной информативности

Признаки	Взаимная информативность
Полная информативность	14,95
Мощность покровных суглинков	1,63
Суммарная защищенность	2,42
Уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта	0,52
Тип ландшафта	Не информативен
Мощность покровных суглинков суммарная защищенность	5,44
Мощность покровных суглинков тип ландшафта	1,77
Суммарная защищенность тип ландшафта	2,85
Суммарная защищенность горизонта уровень московского водно-ледникового водоносного	6,10
Тип ландшафта уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта	0,54
Мощность покровных суглинков уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта	2,42
Мощность покровных суглинков суммарная защищенность уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта	6,10
Уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта мощность покровных суглинков тип ландшафта	2,46
Уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта суммарная защищенность тип ландшафта	6,20
Мощность покровных суглинков суммарная защищенность тип ландшафта	5,70
Уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта мощность покровных суглинков суммарная защищенность тип ландшафта	6,19

Таблица 6

Средние значения по показателям для тестовой части территории

Номер блока	Мощность покровных суглинков, м	Суммарная защищенность московского водно-ледникового водоносного горизонта, м	Уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта, м	Тип ландшафта	Среднее содержание загрязняющих компонентов в ПДК			
					Свинец	Никель	Нефтепродукты	Нитраты
16	4,0	4,5	4,0	Полевой	0,23	0,28	0,05	н.о
17	4,0	4,0	4,0	Лесной	0,23	0,28	0,05	н.о
18	3,5	5,5	4,0	То же	0,23	0,28	0,05	н.о
19	4,0	4,0	4,0	//-//	0,23	0,28	0,05	н.о
20	3,5	5,5	4,0	//-//	0,23	0,28	0,05	н.о
21	3,5	5,0	3,5	//-//	0,23	0,28	0,05	н.о
22	3,5	5,5	4,0	//-//	0,23	0,28	0,05	н.о
23	3,5	5,5	3,5	//-//	0,23	0,28	0,05	н.о
24	3,5	5,5	4,0	//-//	0,23	0,28	0,05	н.о
25	3,5	5,5	4,0	//-//	0,23	0,28	0,05	н.о

Примечание. н.о. — ниже предела обнаружения.

Затем выполняется тестирование информационной модели на участке 2, указанном на карте исследуемой территории (рис. 4). Данные по рассматриваемым показателям приведены в табл. 6, а в ранжированном виде представлены в табл. 7.

Тестирование проводилось по наиболее информативным признакам: мощность покровных суглинков суммарная защищенность; суммарная защищенность горизонта уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта; мощность покровных суглинков суммарная защищенность уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта; уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта суммарная защищенность тип ландшафта; мощ-

ность покровных суглинков суммарная защищенность тип ландшафта; уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта мощность покровных суглинков суммарная защищенность тип ландшафта [5].

Из табл. 8 следует, что ошибочные значения выходного показателя при тестировании были получены в двух блоках (20 %). Соответственно данная модель является эффективной, так как ошибка, полученная при тестировании, не превышает 30 %, и её можно использовать для диагностирования.

Диагностирование с помощью информационной модели было проведено на участке 3 (рис. 4) по ранжированным данным, которые представлены в табл. 9, и результатам расчета взаимной ин-

Таблица 7

Данные в ранжированном виде для тестовой части территории

Номер блока	Мощность покровных суглинков	Суммарная защищенность московского водно-ледникового водоносного горизонта	Уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта	Тип ландшафта	Загрязнение
16	0	0	0	1	0
17	0	1	0	0	0
18	1	0	0	0	0
19	0	1	0	0	0
20	1	0	0	0	0
21	1	0	0	0	0
22	1	0	0	0	0
23	1	0	0	0	0
24	1	0	0	0	0
25	1	0	0	0	0

Таблица 8

Результаты тестирования

Номер блока	Мощность покровных суглинков суммарная защищенность	Суммарная защищенность горизонта уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта	Мощность покровных суглинков суммарная защищенность уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта	Уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта суммарная защищенность тип ландшафта	Мощность покровных суглинков суммарная защищенность тип ландшафта	Уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта суммарная защищенность тип ландшафта	Результат тестирования	Фактическая значение
16	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(24)	0
17	1(1)	Отказ	Отказ	Отказ	Отказ	Отказ	1(1)	0
18	Отказ	0(4)	1(1)	Отказ	Отказ	Отказ	0(4)	0
19	1(1)	Отказ	Отказ	Отказ	Отказ	Отказ	1(1)	0
20	Отказ	0(4)	1(1)	Отказ	Отказ	Отказ	0(4)	0
21	Отказ	0(4)	1(1)	Отказ	Отказ	Отказ	0(4)	0
22	Отказ	0(4)	Отказ	Отказ	Отказ	Отказ	0(4)	0
23	Отказ	0(4)	Отказ	Отказ	Отказ	Отказ	0(4)	0
24	Отказ	0(4)	Отказ	Отказ	Отказ	Отказ	0(4)	0
25	Отказ	0(4)	Отказ	Отказ	Отказ	Отказ	0(4)	0

Примечание. Отказ — ошибка типа (невозможно распознать образ); в скобках — число «голосов» при распознавание.

Таблица 9

Данные в ранжированном виде для диагностирования

Номер блока	Мощность покровных суглинков	Суммарная защищенность московского водно-ледникового водоносного горизонта	Тип ландшафта	Уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта
26	1	1	0	0
27	1	1	0	0
28	1	1	1	0
29	1	1	1	0
30	1	1	0	0
31	1	1	1	0
32	1	1	1	0
33	1	1	1	1

Таблица 10

Результаты диагностирования

Номер блока	Сложные признаки						Результат диагностирования
	Мощность покровных суглинков суммарная защищенность	Суммарная защищенность горизонта уровень московского водно-ледникового горизонта	Мощность покровных суглинков суммарная защищенность уровень московского водно-ледникового горизонта	Уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта суммарная защищенность тип ландшафта	Мощность покровных суглинков суммарная защищенность тип ландшафта	Уровень московского водно-ледникового водоносного горизонта мощность покровных суглинков суммарная защищенность тип ландшафта	
26	0(2),1(4)	1(2), 0(0)	1(1), 0(0)	Отказ	1(1), 0(1)	Отказ	1(8) , 0(3)
27	0(2),1(4)	1(2), 0(0)	1(1), 0(0)	Отказ	1(1), 0(1)	Отказ	1(8) , 0(3)
28	0(2),1(4)	1(2), 0(0)	1(1), 0(0)	1(2), 0(0)	1(3), 0(1)	1(1), 0(0)	1(13) , 0(3)
29	0(2),1(4)	1(2), 0(0)	1(1), 0(0)	1(2), 0(0)	1(3), 0(1)	1(1), 0(0)	1(13) , 0(3)
30	0(2),1(4)	1(2), 0(0)	1(1), 0(0)	Отказ	1(1), 0(1)	Отказ	1(8) , 0(3)
31	0(2),1(4)	1(2), 0(0)	1(1), 0(0)	1(2), 0(0)	1(3), 0(1)	1(1), 0(0)	1(13) , 0(3)
32	0(2),1(4)	1(2), 0(0)	1(1), 0(0)	1(2), 0(0)	1(3), 0(1)	1(1), 0(0)	1(13) , 0(3)
33	0(2),1(4)	0(2), 1(3)	0(2), 1(3)	1(2), 0(1)	1(3), 0(1)	1(1), 0(2)	1(16) , 0(10)

Примечание. Отказ — ошибка типа (невозможно распознать образ); в скобках — число «голосов» при распознавании; жирным выделен ранг блока, полученный в результате диагностирования.

формативности. Диагностирование выполнено по шести наиболее информативным показателям, по которым было проведено тестирования модели. Результаты диагностирования приведены в табл. 10.

Таким образом, по всем девяти блокам диагностируемого участка модели прогнозируем 1-й ранг химического загрязнения, который предполагает, что в пределах каждого из выделенных блоков, концентрация свинца, никеля, нефтепродуктов или нитратов, хотя бы по одному из перечисленных выше параметров, превышает ПДК и подземные воды московского водно-ледникового горизонта, расположенные на участке 3, подвержены загрязнению или находятся в зоне потенциального риска и могут быть загрязнены. Возможность загрязнения обусловлена тем, что данная территория

приурочена к населённому пункту, а также этому способствует минимальная мощность залегающих выше московского водно-ледникового горизонта водоупоров. Рассмотренные условия отражают состояние большей части Истринского района, который на сегодняшний день является относительно благополучным. Однако потенциальное увеличение антропогенной нагрузки и её разнообразия, без надлежащего контроля, приведёт к резкому ухудшению состояния окружающей среды и загрязнению нижележащих горизонтов подземных вод каменноугольного возраста, имеющих хозяйственно-питьевое значение (их пьезометрические уровни на отдельных участках расположены гипсометрически ниже уровней московского водно-ледникового горизонта) [5].

ЛИТЕРАТУРА

- Алентьев Ю.Ю., Лисенков А.Б. Оценка антропогенного влияния на химический состав подземных вод в Московской области // Изв. вузов. Геология и разведка. 2014. № 4. С. 76–80.
- Алентьев Ю.Ю., Лисенков А.Б. К оценке опасности загрязнения подземных вод на основе изучения элементов водного баланса (по данным водно-балансовой станции Малая Истра) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2015. № 1. С. 69–71.
- Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Экологическая гидрогеология. М.: ИКЦ Академкнига, 2006. 397 с.
- Заднепровская О.М., Матафонов Е.П. и др. Информационный бюллетень за 2012 год. М., 2012. 80 с.
- Лисенков А.Б., Алентьев Ю.Ю. Оценка загрязнения подземных вод четвертичных отложений в Истринском районе // Актуальные проблемы гидrolитосферы (диагностика, прогноз, управление, оптимизация и автоматизация). Третий национальный научный форум «Нарзан-2015» 23.09.2015–25.09.2015 г. Кисловодск. Сборник докладов. Пятигорск: РИА-КМВ, 2015. С. 332–346.
- Шестаков В.М., Поздняков С.П. Геогидрология. М., ИКЦ «Академкнига», 2003. 176 с.
- Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Серия: Московская. Лист: № 37-1. Объяснительная записка / В.А. Головкин. М.: Недра, 1964.