

1,7–2,3 и 1,4–1,7 раза) и зерне (в 1,1–1,2 и 2,5–2,8 раза) на супесчаных среднеобеспеченных подвижными формами фосфора и калия дерново-подзолистых почвах следует считать варианты внесения калия в дозах 150–210 кг д.в. на гектар.

Эффективным приёмом снижения перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в зелёную массу и зерно кукурузы (в 1,2 раза) в сравнении с внесением обычной мочевины на фоне 60 т/га навоза и 90 кг д.в. фосфора является использование калия в дозе 150 кг д.в. совместно с азотом медленнодействующей мочевины с гуматсодержащими добавками в дозе 120 кг д.в. на гектар.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексахин, Р.М. Поведение ^{137}Cs в системе почва-растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожае / Р.М.Алексахин, И.Т.Моисеев, Ф.А. Тихомиров // *Агрохимия*. – 1992. – №8. – С. 127–138.
2. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2003–2005 гг. / Кол. авт. И.М. Богдевич (ред.). – Мн., 2003. – 72 с.
3. Володарский, Н.И. Биологические основы возделывания кукурузы / Н.И. Володарский – М.: Колос, 1975. – 28 с.
4. Вильдфлуш, И.Р. Формы фосфатов в дерново-подзолистых почвах Республики Беларусь и способы рационального использования минеральных удобрений / И.Р. Вильдфлуш // *Дисс. доктора с.-х. наук*. – Горки, 1994. – 363 с.
5. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / Ин. аграр. экономики НАН Беларуси; рук. разработ. В.Г. Гусак [и др.]. – Мн.: Бел. наука, 2005. – 460 с. [Надточаев Н.Ф., Шлапунов В.Н., Мелешкевич М.А., Романюк Г.П. Возделывание кукурузы на силос и зерно: Отраслевой регламент. (Утверждён Первым зам. министра сельского хозяйства и продовольствия РБ Н.Н. Котковец 2 мая 2005, введён 2005-06-02), С. 270–286].
6. Пристер, Б.С. Оценка влияния агрохимических характеристик почв на поступление радиоцезия в сельскохозяйственные культуры и прогнозирование накопления его в урожае / Б.С. Пристер, Л.П. Перепелятникова, В.И. Дугинов // *Радиоэкология и контрмеры*: тез. докл. 1 семинара СО МСР, Киев, 27 апреля – 4 мая 1991 г. / Генеральная Ассамблея Советского отделения межд. Союза радиоэкологов. – Киев, 1991. – С. 80.
7. Юдин, Ф.А. Методика агрохимических исследований / Ф.А. Юдин. – М.: Колос, 1971. – 272 с.

Материал поступил в редакцию 20.01.12

NAUMOV A.D., ZHDANOVICH V.P., NIKITIN A.N. The role of potassium in reduction of ^{137}CS and ^{90}SR transfer in corn production

Presented in the article presents Experimental data about efficacy of potassium in different doses is. This technology provid high productivity and reduction of ^{137}Cs and ^{90}Sr transfer in feed products of corn in 2.8 times on the contaminated soil.

Proposed agronomic method of fertilizer application for practice of corn cultivation an the soils with enough amount of phosphorus and potassium and contaminated by radionuclides. This method include the introduction of 50-60 tons of manure, 120 kg ai Nitrogen (normal or slow action of urea), 90 kg ai phosphorus and 150-210 kg ai of potassium per hectare.

УДК [577.025:678.048]:[582.739:661.852]

Кобринец Л.А.

ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ У ПРОРОСТКОВ ЛЮПИНА ВЫЗВАННОЙ ДЕЙСТВИЕМ СОЕДИНЕНИЙ СВИНЦА

Введение. С ростом промышленности и возрастающим влиянием антропогенного фактора на экосистему в последнее время наблюдается значительное накопление тяжелых металлов в окружающей среде. Их высокая токсичность для природной среды и здоровья человека доказана многими исследователями, а накопление металлов в верхних слоях почвы непосредственно действует на рост и развитие растений.

Любой тяжелый металл, накапливаясь в растении в большом количестве, может конкурировать с физиологически важными металлами, в том числе и с железом, за места в активных центрах каталитических систем, инактивируя их и нарушая тем самым важнейшие функции растительного организма, в том числе фотосинтез и дыхание [1].

Сейчас с использованием транспорта в различных отраслях деятельности человека в почве накапливаются значительные концентрации свинца. Свинец является широко распространенным во внешней среде элементом. В растениях в биологически важных обменных процессах он не участвует и является абсолютным токсином. Металл обладает слабой подвижностью, поскольку прочно сорбируется клеточными стенками. В связи с этим можно предположить, что максимальная концентрация свинца в растении наблюдается в корнях, минимальная – в генеративных и запасающих органах. Избыток свинца является токсичным и вызывает такие симптомы, как повреждение мембран, изменение активности ферментов, торможение роста корней растений [2].

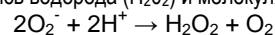
Учитывая то, что свинец относится ко второму классу опасности и его ПДК в природной среде составляет от 0,03 до 32 мг/л, возникла

необходимость в изучении действия солей Pb^{2+} на развитие сельскохозяйственных культур.

В последнее десятилетие появилось много работ, связанных с изучением активности антиоксидантных ферментов при токсическом воздействии тяжелых металлов. В них показано, что особое место в защитных реакциях растений на действие тяжелых металлов принадлежит антиоксидантным ферментам (супероксиддисмутазы, пероксидаза, каталаза), активность которых значительно возрастает в этих токсичных условиях [3–5]. Это приводит к нейтрализации свободных радикалов и пероксидов, образующихся под влиянием тяжелых металлов и оказывающих повреждающее действие на клетки, что способствует повышению устойчивости.

По увеличению активности данных ферментов, как следствие их накопления в растительном организме, можно судить о проявлении защитной реакции клеток к действию свинца.

Активно работающим ферментом растительных тканей является супероксиддисмутазы. Супероксиддисмутазы (СОД) — фермент, который присутствует в клетках растений там, где происходят окислительно-восстановительные процессы. В активном центре СОД содержатся ионы металлов (меди, железа, марганца, цинка). Так, в митохондриях содержится Mn СОД, в хлоропластах — Fe СОД, в цитоплазме, хлоропластах, митохондриях, пероксисомах, а также в апопласте — Cu-Zn СОД. СОД присутствует во всех аэробных организмах и служит для эффективного удаления супероксидных радикалов. СОД катализирует реакцию превращения двух анион-радикалов в перекись водорода (H_2O_2) и молекулярный кислород [6]:

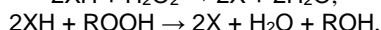
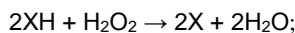


Кобринец Л.А.

В связи с этим необходимым звеном антиоксидантной защиты растений является группа ферментов, ликвидирующих перекись водорода.

Одним из таких ферментов является пероксидаза. Фермент способен выполнять самые разнообразные функции в живых организмах, что обуславливается разнообразием механизмов его действия, способностью катализировать окислительную и пероксидазную окисления [7]. Пероксидаза способна осуществлять контроль за уровнем перекиси водорода, восстанавливая ее до воды.

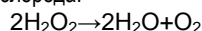
Пероксидаза – двухкомпонентный фермент класса оксидоредуктаз, состоящий из гематина $C_{34}H_{32}O_4N_4Fe(III)OH$ (низкомолекулярного кофермента, содержащего железо) и апофермента (белковой частицы, составляющей основную часть фермента) [7]. Пероксидазы – обширная группа ферментов, катализирующих реакции окисления органического и неорганического субстрата с использованием пероксида водорода или органических пероксидов в качестве акцепторов электронов:



где ХН – восстановленный субстрат, Х – окисленный субстрат.

Пероксидаза представляет собой одно из звеньев цепи переноса электронов в митохондриальной альтернативной дыхательной цепи. Для пероксидазы доказано ее участие в окислительно-восстановительных реакциях в процессе фотосинтеза; в образовании аукина и этилена; в восстановлении нитритов, нитратов (в азотном обмене), дыхательных процессах, участвуют в регуляции развития и органогенеза и т.п. [8].

Каталаза – это двухкомпонентный фермент, состоящий из белка и соединенной с ним простетической группы, последняя содержит гематин. Установлено, что каталаза содержит 0,09% железа, т.е. четыре атома железа приходится на одну молекулу фермента. Оптимальные действия каталазы при pH 6,5; в более кислых и щелочных средах активность уменьшается. Сущность каталитического действия каталазы состоит в разложении перекиси водорода с выделением молекулярного кислорода:



Одна молекула фермента способна вызывать распад $6 \cdot 10^6$ молекул пероксида водорода в секунду.

Каталаза локализована преимущественно в пероксисомах и глиоксисомах, специфическая изоформа обнаружена также в митохондриях, активность ее обнаружена и в хлоропластах растений, т.е. там, где происходят процессы клеточного дыхания с участием флавиновых дегидрогеназ, в результате деятельности которых образуется токсичная для клетки перекись водорода. Поэтому каталаза выполняет важную роль, разлагая токсичную для клеток перекись водорода. В окисленном состоянии каталаза может работать и как пероксидаза, катализируя окисление спиртов или альдегидов [6]. Существенна также роль каталазы в снабжении молекулярным кислородом тех участков тканей, куда доступ его в силу тех или иных причин затруднен.

Поскольку содержание свинца в окружающей среде связано в первую очередь с деятельностью человека и еще до конца не изучены механизмы защиты растений от токсического действия тяжелых металлов, актуальной является проблема использования загрязненных свинцом пахотных земель.

Таким образом, целью наших исследований было определение действия солей свинца различных концентраций на антиоксидантную систему этилированных проростков люпина, в частности, изучение влияния высоких концентраций ионов свинца на активность ферментов антиоксидантной системы.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить динамику изменения роста проростков люпина при воздействии солей свинца различных концентраций.
2. Изучить общую антиоксидантную, каталазную и пероксидазную активность проростков люпина в условиях загрязнения среды ионами свинца.

3. Определить действие ионов свинца на функциональный уровень антиоксидантной системы побегов и корешков бобовых растений на примере люпина.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись проростки семян люпина желтого узколистного (*Lupinus luteus* L.) сорта «Кармавы».

Для получения этилированных проростков семена стерилизовали слабым раствором марганцовки, после чего промывали дистиллированной водой и оставляли набухать при комнатной температуре в течение 1-2 ч. Семена проращивали на влажной фильтровальной бумаге, смоченной дистиллированной водой (контроль) в термостате при температуре 27 °С в течение двух дней. Для исследования влияния солей свинца в среду добавляли раствор $Pb(NO_3)_2$ в диапазоне концентраций от $10^{-5}M$ до $10^{-3}M$. Все опыты выполнялись с 3-х кратной повторностью. В качестве контроля использовалась среда, не содержащая ионов свинца.

В экспериментах проводили анализ действия солей свинца на рост проростков и активность ферментов антиоксидантной системы – пероксидазы и каталазы.

Активность пероксидазы определяли методом, основанном на определении скорости реакции окисления бензидина под действием пероксидазы, содержащейся в растениях, до образования продукта окисления синего цвета определенной концентрации [10]. Навеску этилированных проростков растирали в ступке с ацетатным буфером pH 4,7 и с помощью буфера переносили в мерную колбу на 50 мл. После 10 мин настаивания с периодическим помешиванием, в результате чего пероксидаза переходила в раствор, вытяжку центрифугировали. Надосадочную жидкость использовали для определения активности фермента. В две кюветы наливали по 2,0 мл ферментного раствора, раствора бензидина в ацетатном буфере и воды. Измерения проводили на фотоэлектроколориметре «КФК-2» (Россия) при красном светофильтре. Вначале устанавливали стрелку гальванометра на нуле. После этого в опытную кювету наливали 3%-ную перекись водорода. Сразу же после начала вливания перекиси водорода включали секундомер. При этом, под действием пероксидазы, происходит реакция окисления бензидина с образованием соединения синего цвета. Когда стрелка гальванометра достигнет отметки экстинкции $E = 0,125$ или $0,250$ секундомер останавливали и записывали полученные данные.

Активность пероксидазы вычисляли по скорости реакции в условных единицах и выражали на 1 г растительного материала (формула 1).

$$A = \frac{E \cdot a \cdot b}{m \cdot c \cdot t}, \quad (1)$$

где A – активность фермента на 1 г навески (в у.е.);

E – экстинкция (0,125 или 0,250);

a – объем вытяжки;

b – степень разведения вытяжки в реакционной смеси (в кювете);

m – навеска растительного материала, г;

c – толщина жидкости в кювете, см;

t – время, с.

Методы, используемые для определения активности каталазы основаны, главным образом, на количестве кислорода, образующегося в результате действия фермента. При проведении опытов активность каталазы изучали спектрофотометрическим методом, основанном на способности пероксида водорода образовывать с солями молибдена стойкий окрашенный комплекс [9]. Реакцию запускали добавлением гомогената (100 мг проростков на 1 мл трис-НСI-буфера, pH 7,8) к 0,03%-го раствора перекиси водорода. В холостую пробу вместо гомогената вносили дистиллированную воду. Реакцию останавливали через 10 мин добавлением 4%-го молибдата аммония. Интенсивность развившейся окраски измеряли на спектрофотометре MC 122 фирмы COOO «Проскан специальные инструменты» (Республика Беларусь) при длине волны 410 нм.

Определение активности каталазы проводили по формуле 2:

$$E = (A_{хол} - A_{оп}) \cdot V \cdot t \cdot K, \quad (2)$$

где E – активность каталазы (мкат/л);

$A_{хол}$ – экстинкция холостой пробы;

$A_{оп}$ – экстинкция и опытной пробы;

V – объем вносимой пробы;

t – время инкубации;

K – коэффициент миллимолярной экстинкции H_2O_2 ($22,2 \cdot 10^3 \text{ мм}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$).

Результаты и обсуждение. В ходе проведенного эксперимента определили, что проростки люпина условно устойчивы к действию солей свинца. Так, у растений люпина желтого узколистного при использовании ионов свинца в концентрациях 10^{-3} – 10^{-5} М длина корешков составляла 27,9–83,8% (седьмые сутки) и 24,2–76,3% (десятые сутки) от контрольного показателя, а на четырнадцатые сутки происходило угнетение ростовой активности и загнивание корешков. Результаты исследований роста люпина желтого узколистного указаны в рисунке 1.

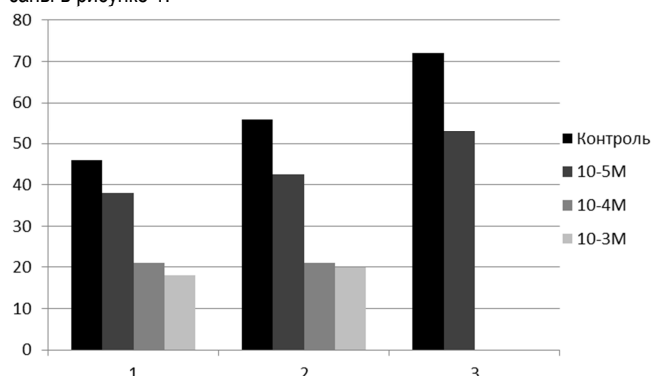


Рис. 1. Влияние ионов свинца на длину корешков проростков люпина желтого узколистного, мм: 1 – седьмые сутки, 2 – десятые сутки, 3 – четырнадцатые сутки

Происходило также резкое ингибирование роста побегов (длина побегов составляла – 17,7–92,4% (седьмые сутки) и 10,0–89,6% (десятые сутки) от контроля, на четырнадцатые сутки происходила гибель растений люпина узколистного при действии высоких концентраций ионов Pb^{2+} (рисунок 2).

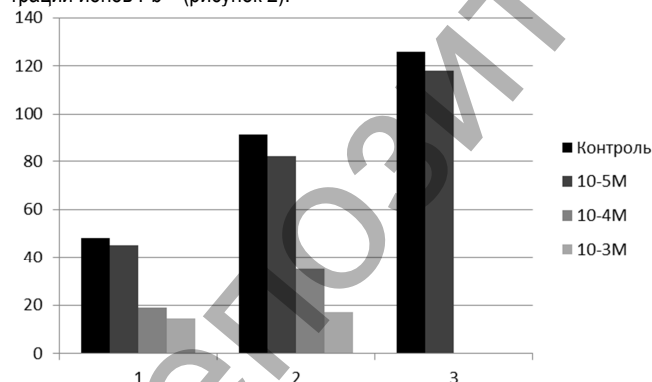


Рис. 2. Влияние ионов свинца на длину побегов проростков люпина желтого узколистного, мм: 1 – седьмые сутки, 2 – десятые сутки, 3 – четырнадцатые сутки

Проведенные исследования показали, что при воздействии ионов свинца в концентрациях 10^{-4} , 10^{-3} М наблюдалось постепенное ингибирование роста корешков и побегов у растений гороха. Наблюдались морфологические изменения корней, утончение, уменьшение тургора и частичное отмирание.

При изучении действия ионов Pb^{2+} было обнаружено, что у растений люпина узколистного при повышении концентрации солей свинца наблюдалось увеличение активности пероксидазы. Так ее активность в корешках люпина возрастала в 2,0–3,4 раза (седьмые сутки), 1,6–4,5 раза (десятые сутки) по сравнению с контрольными

растениями, а уже на четырнадцатые сутки активность пероксидазы практически полностью затормозилась при увеличении концентрации солей свинца (рисунок 3). Активность пероксидазы в побегах с увеличением концентрации ионов свинца в питательном растворе увеличивается в первые десять дней развития растения. На четырнадцатые сутки наблюдается торможение пероксидазной активности в побегах люпина с увеличением ионов Pb^{2+} в растворе, что свидетельствует о снижении окислительной устойчивости.

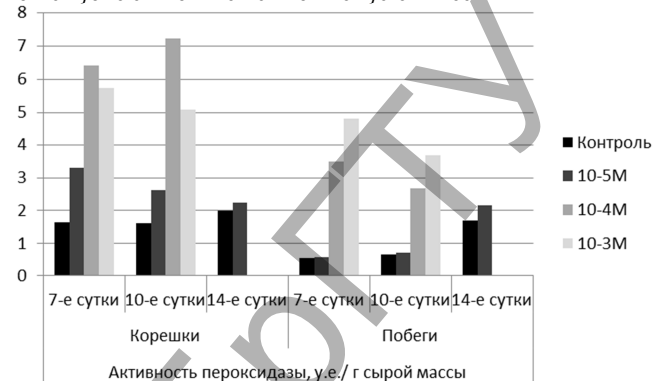


Рис. 3. Активность пероксидазы в проростках люпина узколистного при воздействии солей свинца различных концентраций

Та же закономерность наблюдается в изменении активности каталазы в побегах проростков люпина узколистного (рисунок 4). Активность каталазы в корнях с увеличением концентрации ионов свинца снижается на протяжении четырнадцати дней по сравнению с контрольными растениями.

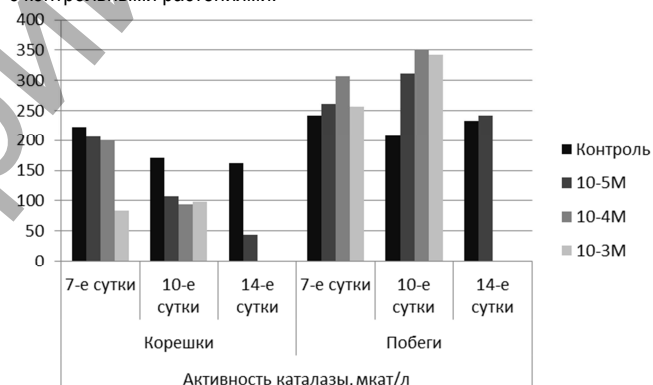


Рис. 4. Активность каталазы в проростках люпина узколистного при воздействии солей свинца различных концентраций

Однако, по сравнению с активностью пероксидазы активность каталазы гораздо меньше. В этом случае из-за уменьшения активности каталазы, пероксидаза становилась главным ферментом, катализирующим распад перекиси водорода. Резкое увеличение активности пероксидазы, по всей видимости, отражает естественный ответ растений на избыток свободных радикалов при подавлении функции каталазы.

Заключение. Исходя из полученных данных можно сделать следующие выводы. Прежде всего, защитной реакцией на действие солей свинца служит повышение активности антиоксидантных ферментов в первые две недели развития растительных организмов. На порядок более высокая активность пероксидазы в проростках люпина по сравнению с каталазой свидетельствует о более значительной роли этого фермента в окислительных механизмах устойчивости люпина к действию свинца. Проникая в избытке в растительный организм, тяжелые металлы затрудняют ход метаболических процессов. С угнетением роста при повышенных концентрациях ионов свинца происходит практически полное торможение деятельности антиоксидантных ферментов.

Таким образом, антиоксиданты функционируют во всех живых организмах и на всех уровнях их организации в единой биологической системе, тонко регулируя антиоксидантный статус клеток и организма в целом. Важную роль во всей этой системе антиоксидантной защиты играют ферменты каталазы и пероксидазы, которые катализируют разрушение молекул перекиси водорода, поддерживая тем самым ее нормальный уровень в клетках.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чернавина, И.А. Физиология и биохимия микроэлементов / И.А. Чернавина. – М.: Высш. шк., 1980. – 309 с.
2. Нестерова, А. Н. Воздействие ионов свинца, кадмия и цинка на клеточную организацию меристемы и рост корней проростков кукурузы: автореф. дис. канд. биол. наук / А. Н. Нестерова. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 26 с.
3. Влияние кадмия на CO_2 -газообмен, переменную флуоресценцию хлорофилла и уровень антиоксидантных ферментов в листьях гороха / Т. И. Балахина [и др.] // Физиология растений. – 2005. – Т.52, № 1. – С. 21–26.
4. Холодова, В. П. Адаптация к высоким концентрациям солей меди и цинка растений хрустальной травки и возможность их использования в целях фиторемедиации / В.П. Холодова, К.С. Волков, Вл.В. Кузнецов // Физиология растений. – 2005. – Т.52. – № 6. – С. 848–858.
5. Распределение Cd и Fe в растениях *Mesembryanthemum crystallinum* при адаптации к Cd-стрессу / Н. И. Шевякова [и др.] // Физиология растений. – 2003. – Т.50, № 5. – С. 756–763.
6. Меньшикова, Е. Б. Антиоксиданты и ингибиторы радикальных окислительных процессов / Е. Б. Меньшикова, Н. К. Зенков // Успехи современной биологии. – 1993. – Т. 113, № 4. – С. 442–455.
7. Рогожин, В. В. Пероксидаза как компонент антиоксидантной системы живых организмов / В. В. Рогожин. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 240 с.
8. Андреева, В. А. Фермент пероксидазы: участие в защитном механизме растений / В.А.Андреева. – М.: Наука, 1988. – С. 7–24.
9. Метод определения активности каталазы / М.А. Королюк [и др.] // Лабораторное дело. – 1988. – № 1. – С. 16–19.
10. Гавриленко, Л. Е. Большой практикум по физиологии растений / Л.Е. Гавриленко, Л.М. Хандобина. – Минск: Высшая школа, 1975. – С. 207–209.

Материал поступил в редакцию 22.02.12

KOBRINETS L.A. Changes in the activity of antioxidant enzymes in seedlings of lupine caused by the action of lead compounds

The effect of different salt concentrations of lead (10^{-5} - 10^{-3}M) on the growth and activity of antioxidant enzymes in seedlings of yellow lupine narrow-leaved (*Lupinus luteus* L.) cultivar "Karmavy." It is established that the effect of low concentrations of lead compounds significantly slows the growth of shoots, roots and enhances the activity of catalase and peroxidase in the first two weeks of development. It is shown that high concentrations of lead ions inhibit the growth of seedlings and stop the activity of antioxidant enzymes on the tenth day of the study. Based on the data over a high peroxidase activity in seedlings of lupine compared with catalase demonstrates the significant role of this enzyme in the oxidative mechanisms of resistance to the action of lupine lead.

УДК 628.544

Богуш Е.А., Гуринович А.Д., Пикус Д.М.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА СООРУЖЕНИЯ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

Введение. Для оценки эффективности ценообразования в строительстве водозаборных скважин был проведен анализ проектов и паспортов более чем 20 водозаборных скважин различных систем водоснабжения городов и поселков Беларуси, запроектированных и пробуренных УП «Гродноводоканал», ОАО «Аквабелсистем», ЗАО «Барановичский Промбурвод», НПО «Подземвод», ООО «Сюмбур» и др.

Сравнение проектов и паспортов показало наличие значительных расхождений как в данных геолого-технического разреза, литологии, мощности водоносных пластов, глубин бурения, дебитов скважин, конструкций скважин. Кроме того, как проекты, так и паспорта разных проектных и буровых организаций отличались по методике проектирования, содержанию, объему и качеству оформления [1].

Так, в частности, в проекте водозаборной скважины системы водоснабжения г. Гродно была разработана конструкция скважины с фильтром глубиной 283 м. Согласно паспорта пробуренной скважины по данному проекту она оказалась бесфильтровой и глубиной 238 м.

Интересен обнаруженный факт, что капитальный ремонт водозаборной скважины рассматривается в отличие от самого понятия «капитальный ремонт» в строительстве, как бурение новой скважины. При капитальном ремонте за основу бурения берутся исходные данные паспортов старой скважины, которые, как правило, не соответствуют действительности. Так проект капитального ремонта водозаборной скважины для водоснабжения в д. Сосновка Слонимского района имел большие различия.

С вводом же в 2011 г. двух технических кодексов установившейся практики (ТКП) Минархстроя и Минприроды Беларуси [2, 3] дополнительно возникли серьезные противоречия в порядке и методике проек-

тирования водозаборных скважин, которые в значительной мере влияют на качество и эффективность проектов водозаборных скважин.

Методика проектирования водозаборной скважины [2, 4] включает нижеследующие этапы.

1 этап. Сбор материалов и данных о: водопотребителе (заказчике) с требуемой производительностью скважины; существующей или проектируемой (реконструируемой) системы водоснабжения; перспективе развития объекта водоснабжения; местоположении проектируемой скважины (координаты и абсолютная высотная отметка); геологических и гидрогеологических условий (геолого-литологического разреза с указанием геологических индексов, глубины залегания, мощности и литологическим описанием пород с выделением водоносных горизонтов (пластов) и указанием уровней воды, прогнозных дебитов и понижений; близ расположенных скважин (при их наличии); прогнозных основных физико-химических и микробиологических показателей воды.

2 этап. Определение конструкции скважины и способа бурения. Исходными данными являются: производительность скважины, определенная проектным заданием;

тип водоподъемного оборудования и связанный с ним эксплуатационный диаметр скважины; глубина залегания водоносного горизонта, его мощность, а также характеристика слагающих пород, включая фильтрационные параметры; интервалы изоляции и разобщения отдельных водоносных горизонтов; степень сложности геологических и гидрогеологических условий района буровых работ.

При разработке конструкции скважины должны определяться в

Богуш Екатерина Андреевна, аспирантка Белорусского национального технического университета.

Пикус Дмитрий Маркович, доцент Белорусского национального технического университета.

Гуринович Анатолий Дмитриевич, профессор Брестского государственного технического университета. Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология